# La méthode des saisons climatiques : stratégie passive de conception architecturale de bâtiments basse consommation énergétique en climat très chaud

Ferran Yusta Garcia

▶ **To cite this version:**

Ferran Yusta Garcia. La méthode des saisons climatiques : stratégie passive de conception architecturale de bâtiments basse consommation énergétique en climat très chaud. Mécanique [physics.med-ph]. Université de Bordeaux, 2018. Français. NNT : 2018BORD0146 . tel-01951360

**HAL Id: tel-01951360**
**https://theses.hal.science/tel-01951360**

Submitted on 11 Dec 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

université de BORDEAUX

THÈSE PRÉSENTÉE
POUR OBTENIR LE GRADE DE

# DOCTEUR DE

# L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

ÉCOLE DOCTORALE nº 209 : SCIENCES PHYSIQUES ET DE L'INGÉNIEUR
SPÉCIALITÉ : MÉCANIQUE

Par Ferran YUSTA GARCIA

# LA MÉTHODE DES SAISONS CLIMATIQUES

**Stratégie passive de conception architecturale de bâtiments basse consommation énergétique en climat très chaud**

Sous la direction de : Denis BRUNEAU
co-directeur : Frédéric BONNEAUD

Soutenue publiquement le 19 septembre 2018

Membres du jury :

| | | |
|---|---|---|
| Mme. SEMIDOR, Catherine | Professeur HDR, ENSA Bordeaux | Président |
| M. ADOLPHE, Luc | Professeur, INSA Toulouse | rapporteur |
| M. BOZONNET, Emmanuel | Maître de conférences HDR, Université de La Rochelle | rapporteur |
| M. KHAN, Ahmed | Maître de conférences, Université King Abdulaziz | examinateur |
| M. BRUNEAU, Denis | Professeur HDR, ENSAP Bordeaux | examinateur |
| M. BONNEAUD, Frédéric | Professeur, ENSA Toulouse | examinateur |
| M. GONTIER, Pascal | Professeur, ENSA Nantes | invité |
| M. RODRIGUEZ, Julio | Professeur, Université de Panama | invité |

*... à Bruno, un bon ami des Cévennes.*

# Titre : LA MÉTHODE DES SAISONS CLIMATIQUES
# Stratégie passive de conception architecturale de bâtiments basse consommation énergétique en climat très chaud

**Résumé :** Si un concepteur, architecte ou ingénieur, veut concevoir un logement de basse consommation et le site du projet se trouve dans une région au climat froid, les réponses sont nombreuses et la littérature scientifique très abondante. Si le site de notre projet se situe en climat chaud, voir très chaud, le nombre de méthodes simples pour concevoir une maison de basse consommation diminue drastiquement. La solution la plus habituelle des concepteurs non initiés à la basse consommation est de faire appel à un ingénieur d'un bureau d'études énergétiques, qui saura proposer des simulations à partir d'un modèle thermique-dynamique et anticiper la consommation du modèle. La mission d'un bureau d'études a un certain coût, et ses services ne peuvent pas être accessibles à tous les projets. Ainsi, des milliers d'architectes en climat chaud proposent des projets inspirés des références lointaines ou des réalisations non adaptées sans les conseils d'un spécialiste de l'énergie du bâtiment. Ces projets, très énergivores, continuent à croître sans cesse. Pour tous ces concepteurs des projets de taille modeste nous proposons dans cette étude une méthode facile, efficace et accessible à tous permettant de prendre conscience des enjeux bioclimatiques et les options architecturales qui existent pour réussir un projet de basse consommation, puis de le défendre auprès de ses commanditaires. En nous appuyant sur les informations en ligne accessibles à tous, nous proposons une méthode basée sur l'utilisation des degrés-jour de refroidissement et de chauffage. Une série de simulations robustes sur un modèle thermique-dynamique générique fourni des résultats qui pourront être interprétables par les concepteurs et projetés sur leurs propres conceptions.

La première partie de ce document analyse la construction et la culture en climat chaud: méthodes de classification climatique, les phénomènes physiques les plus significatifs en lien avec la basse consommation, et les notions de confort et température ressentie. En suite, nous proposons un outil d'aide à la conception : la Méthode des Saisons Climatiques, une méthode basée sur un concept très simple : l'ouverture ou fermeture de la maison à l'extérieur en fonction des conditions extérieures quantifiée par les degrés-jour du site. Elle permet de faire une classification climatique du site très orientée vers la conception bioclimatique. Elle base le classement d'un site selon des journées types, S1 à S6, selon jour/nuit froid/froide, tempéré/froide, tempéré/tempérée, chaud/froide, chaud/tempérée et chaud/chaude respectivement. Cette nouvelle classification peut s'appliquer à tous les climats de la Planète. Une période de l'année continue avec une même journée type donne lieu a une Saison Climatique. Chaque Saison climatique aura des spécificités architecturales propres, et parfois contradictoires entre deux saisons climatiques différentes. L'objectif est de trouver la combinaison architecturale la plus efficace pour une période annuelle complète.

Des modélisations Energy+ seront faites pour ces 6 journées types ainsi que pour une période annuelle dans une ville au climat très chaud : Dubaï. Des actions architecturales sont évaluées avec un modèle thermique-dynamique. Les actions architecturales seront classées par efficacité énergétique et par temps de retour sur investissement . Deux maisons idéales par journée type seront proposées : la maison la plus performante et la maison la plus rentable. Une méthode de combinaison d'actions architecturales permettra de trouver une combinaison cohérente d'actions en fonction du climat annuel d'un site. Ensuite nous proposerons les caractéristiques communes, un socle commun, de la maison en climat très chaud de la région du Moyen Orient.

**Mots clés :** architecture bioclimatique, architecture passive, basse consommation énergétique, climat chaud, Moyen Orient, architecture vernaculaire, Solar Decathlon Middle East

# Title : THE CLIMATIC SEASONS METHOD
# A passive design strategy for low energy consumption buildings in very hot climate

**Abstract:** The last 25 years have been ground-breaking in architectural design on low energy consumption in cold climate, mainly in north-western cultures. For an architect today, the method to design a passive house in cold weather and the choice of the Architectural Actions (AA), are clearly established. When the question comes to how to build a passive house in warmer, hot, and very hot climates, the strategies are poor and often results of a combination of western strategies with a local relook. From several visits in Middle East countries, Saudi Arabia, UAE, Oman, Palestine, Qatar, we concluded that the strategy for low consumption houses is not established yet and poorly grasped. The lack of training on low energy consumption in hot climate and the low price of energy, force designers and owners to rely on over usage of air-conditioning systems as measures to catch up on poor bioclimatic design. This method proposes a new approach on bioclimatic design for hot climates from an architect point of view. It is based on a Cooling Degrees Days (CDD) and Heating Degrees Days (HDD) approach, a state of art of contemporary architecture and professional experience. Local climates are classified according to the energy-hunger of six situations of the exterior temperature during night/day : cold/cold, cold/cool, cool/warm, cold/hot, cool/hot, and hot/hot as CDD and HDD of the twelve month of the year. A group of days on one of those situations will be called “climatic season”. In parallel we will create two main “climatic situations”: people keep the house closed to the exterior or opened to the exterior. We will associate passive strategies to these two differents ways to live in the house: “cold” and “hot” to a closed house and “cool” and “warm” to a house opened up to the exterior. This method allows classifying any climate in the world under these six climatic seasons. Our climate classification can now be associated to different strategies that we will call “architectural actions” as house is closed or opened. We could already start to design a house from here, but to better understand the influence of each action we have created an Energy+ model to analyze individually the effect of a single AA. The performance of each action is evaluated under the situations of six representative journeys as well as a year round on a very hot city: Dubai. The result of the effect good or bad of action during each different season situation allows us to create the best combination of AA that are best for a year round climate resulting of the combination of several climatic seasons. This low-tech method will help us to find the common features of the houses of different hot climates of a big region and find the best typology. We have carried in parallel a cost study of the base house and the financial incidence of each single action to evaluate also the payback period by action.

**Keywords:** bioclimatic architecture, passive architecture, low energy consumption building, hot climate, Middle East region, vernacular architecture, Solar Decathlon Middle East

## Unité de recherche

Groupe de Recherche sur l’Environnement, la Construction,
le Confort et les Ambiances dans l’Architecture et l’Urbanisme

GRECCAU, Équipe Associée 7482 - Ministère de la Culture,
740 Cours de la Liberation, 33405 Talence

## *Remerciements*

*Cette thèse est le fruit d'une aventure collective. Sans ce collectif de collègues, amis, et famille elle n'aurait jamais abouti.*

*Je voudrais remercier tout d'abord mes enfants, Alba et Yona, et ma compagne, Zora, pour leur patience et leur encouragements. Ils ont dû organiser leur quotidien autrement tout le long de ces trois longues années, sans quoi cet ouvrage n'aurait pas vu le jour.*

*A mes parents qui ont su ne pas me décourager, ce qui est une qualité en soi.*

*Grand merci à mes deux directeurs de thèse, Prof. Denis Bruneau et Prof. Frédéric Bonneaud, pour comprendre ma situation particulière pendant ces trois années, sachant être présents lorsqu'il le fallait, tout en me laissant suivre mon chemin, toujours en confiance. Merci de m'avoir fait connaître la puissance de votre force calme.*

*Cette thèse n'aurait jamais commencé sans le soutien du Prof. Catherine Semidor, à qui je remercie tout particulièrement.*

*Un grand merci aux deux rapporteurs de thèse, Prof. Luc Adolphe et Dr. Emmanuel Bozonnet, qui ont dû lire et analyser des centaines de pages d'une étude sur le climat chaud pendant la période estivale. Croyez nous, ce n'était pas fait exprès.*

*Je remercie mes collègues du champ Sciences et Techniques pour l'Architecture de l'École Nationale Supérieure d'Architecture et de Paysage de Bordeaux, et du Laboratoire de recherche GRECCAU, qui ont dû combler mes absences avec une énergie supplémentaire malgré déjà leur emploi de temps déjà extrêmement chargé, et cela toujours avec le sourire et des mots d'encouragement.*

*Merci aussi à tous les membres de l'agence CUBE pour leur compréhension et leur énergie à combler mes absences répétées !*

*Cette thèse a vu le jour, grandi et mûri en même temps qu'une seconde aventure que nous avons menée en parallèle : le Solar Decathlon Middle East 2018 à Dubaï. Je veux remercier toute l'équipe qui a su m'inspirer par leurs actes et leurs idées tout en montrant une motivation sans faille face à un défi commun, celui de construire de façon responsable ailleurs que dans nos climats habituels.*

*Bordeaux, le 30 Juin 2018*

## *Préambule*

*Alors qu'historiquement les populations occidentales, Europe et Amérique du Nord, étaient de très mauvais exemples de sobriété énergétique : abondance énergétique bon marché, modèle de société de consommation impliquant la surexploitation des ressources etc., aujourd'hui cette hégémonie des populations les plus consommatrices n'appartient plus qu'aux pays occidentaux puisqu'une partie des pays en climat très chaud et particulièrement du Moyen Orient occupe désormais les premières places de consommation énergétique per capita. Ainsi des millions de logements se construisent en climat très chaud suivant un modèle d'architecture dite « internationale » pour la plupart sans une réflexion approfondie des principes architecturaux bioclimatiques ce qui se traduit par un parc immobilier grandissant et de plus en plus énergivore. La suppression totale de moyens de refroidissement n'est simplement plus viable, physiquement et socialement, dans la grande majorité de ces pays, au même titre que la suppression de nos systèmes de chauffage, parfois d'appoint, n'est pas non plus envisageable sauf dans les cas très exceptionnels. Avec le temps les générations des pays aux climats chauds se sont habituées à la climatisation pour arriver à un point de difficile retour. Et pourtant nous avons besoin d'un point d'inflexion.*

*Nous aspirons, dans cette thèse, non pas à trouver le bâtiment performant qui pourra supprimer les moyens de refroidissement mécanisés, en tout cas pas pour l'instant, mais à aider à concevoir avec une approche bioclimatique l'habitation la plus efficace et passive possible de telle sorte que l'usage de la climatisation soit réduit à son minimum nécessaire. Ce travail cherche à explorer les solutions architecturales possibles qui pourraient contribuer à améliorer le confort et la qualité de vie future des familles, aisées et modestes, dans des climats chauds par le biais de l'architecture passive contemporaine. Basée sur les principes bioclimatiques locaux, le tout combiné avec la technologie de construction disponible selon le contexte de chaque lieu, elle cherche ainsi à améliorer la connaissance sur la conception bioclimatique et de basse consommation en climat chaud.*

*Ferran YUSTA GARCIA*
*Ingénieur Caminos, Canales y Puertos*
*Architecte Diplômé d'Etat HMONP*
*Maître de Conférences Titulaire des ENSA*

# SOMMAIRE


## 0- Définition de la problématique

## 1- État des lieux de l'architecture en climat chaud

*1-1- Contexte mondiale*
*1-2- Habiter la maison en climat chaud.*
*1-3- Les phénomènes physiques les plus spécifiques en climat chauds*
*1-4- La production architecturale en climat chaud*
*1-5- La production architecturale de basse consommation en climat chaud*

## 2- Stratégies de conception en climat chaud

*2-1- Synthèse des principaux traités bioclimatiques en climat chaud*
*2-2- Les méthodes de conception en climat chaud à partir de modélisation des zones de confort hygrothermique*

## 3- Méthode des Saisons Climatiques

*3-1- Synthèse de la maison présentée comme «idéale» en climat chaud selon les profiles des concepteurs*
*3-2- Actions architecturales pour climat très chaud : récapitulatif et classification en axes stratégiques*
*3-3- Présentation générale de la méthode des saisons climatiques*
*3-4- Profile climatique du site: Situations climatiques, journée type, saisons climatiques et l'année climatique*

## 4- Étude approfondie par action architecturale

*4-1- Informations générales sur le climat du site*
*4-2- La modélisation*
*4-3- Analyse des actions architecturales : modèle de base*
*4-4- Analyse individuel par action architecturale*

## 5- Synthèse architecturale

*5-1 Stratégies et hiérarchisation des actions par saison climatique, S2 à S6, et annuelle*
*5-2 Pack climatique : méthode de compatibilité des actions dans une année climatique*
*5-3- La maison basse consommation du climat chaud selon la méthode*

## 6- Proposition consolidée et critique

*6-1- Révision de la proposition de stratégie initiale*
*6-2- La méthode des saisons climatiques consolidée*
*6-3- Critique de la méthode*

## 7- Conclusion et perspectives

*7-1- Conclusion après les critiques à la méthode*
*7-2- Perspectives et futurs axes de recherche*

## Bibliographie

## Annexes

# 0 Définition de la problématique

Si nous nous mettons dans le rôle d'un jeune concepteur architecte, ou ingénieur, désireux de concevoir un logement de basse consommation pour ses clients tout en offrant une architecture de qualité, nous avons besoin de tracer rapidement une stratégie de projet pour pouvoir présenter une esquisse convaincante aux futurs habitants. Le temps passe très vite, entre le moment où on reçoit une demande et le moment où nous devons faire une première proposition. Quelle est la méthode à suivre pour intégrer une réflexion bioclimatique dès la genèse du projet ?

Si le site de notre projet se trouve dans une région au climat froid, les réponses sont nombreuses et la littérature scientifique très abondante. De nombreux labels et méthodes s'offrent à nous en fonction du pays, Effinergie, Passivhaus, Minergie... et pour chacun, une méthode de conception est implicitement intégrée, même si elles semblent toutes très similaires. Si le site de notre projet se situe en climat chaud, voir très chaud, le nombre de méthodes simples pour concevoir une maison de basse consommation diminue drastiquement et elles ne sont pas, de notre point de vue, réellement adaptées.

La solution la plus habituelle des concepteurs non initiés à la basse consommation est de faire appel à un ingénieur d'un bureau d'études énergétiques, tout en faisant des simulations à partir d'un modèle thermique-dynamique. Il faudra tout de même trouver les bons choix architecturaux : l'architecte devra guider l'ingénieur vers les solutions les plus adaptées en lien avec l'architecture, et pour cela l'architecte doit connaître la direction qu'il veux pour son projet. En plus, l'option de faire participer un bureau d'études n'est pas toujours possible localement, ni abordable financièrement pour de petits projets. Ainsi, des milliers d'architectes en climat chaud proposent des projet inspirés des références lointaines ou des réalisations non adaptées. Le résultat est un parc immobilier mal adapté à son contexte, inconfortable et très énergivore qui continue à croître sans cesse.

Il est urgent de pouvoir proposer en climat chaud une méthode facile, efficace et accessible à tous pour que les concepteurs puissent prendre conscience des enjeux bioclimatiques et les options architecturales qu'existent pour réussir un projet de basse consommation, puis le défendre auprès de ses commanditaires. En nous appuyant sur les informations en ligne accessibles à tous, nous allons chercher une méthode basée sur l'utilisation des degrés-jour de refroidissement et de chauffage pour bâtir notre stratégie. Afin d'éviter de faire systématiquement appel à un modèle de simulation thermique-dynamique, nous ferons une série de simulations robustes sur un modèle thermique-dynamique générique dont les résultats pourront être interprétables par les concepteurs et projetés sur leurs propres conceptions.

Afin d'aborder correctement cette problématique nous avons d'abord fait une analyse générale de l'état des lieux de la construction et de la culture en climat chaud. Notre étude explore ainsi les méthodes de classification climatique, elle identifie les zones géographiques où se trouvent les mégapôles les plus chaudes de la planète, et passe en revue les phénomènes physiques les plus significatifs en lien avec la basse consommation ainsi que les notions de confort et température ressentie. Nous décrivons comment la culture et les habitudes régionales dictent la manière d'habiter une maison, et marquent la production architecturale de la région du Moyen Orient, passée, présente et future, y compris l'architecture de basse consommation locale. Cette production est analysée à partir des visites urbaines, visites de chantier et références bibliographiques.

En suite, nous nous sommes intéressés aux concepteurs experts réputés et à leur méthodes de conception en climat chaud. Nous analysons les différents courants de la conception, vernaculaire, moderne, et contemporaine ainsi que les outils d'aide à la conception en climat chaud : le diagramme de Givoni, les tables de Mahoney, mais aussi des approches plus contemporains comme la «perceived température» pour les espaces extérieurs ou les prescriptions de la Passivhaus Institut pour les climats chauds.

Suite à cette analyse de l'état de l'art, nous proposons un premièr outil d'aide à la conception : la Méthode des Saisons Climatiques. Il s'agit d'une méthode basée sur un concept très simple d'ouverture ou fermeture de la maison à l'extérieur, et quantifié par les degrés-jour du site. Elle permet de faire une classification climatique du site très orientée vers la conception bioclimatique basée sur l'utilisation de journées types, S1 à S6, qui peuvent s'appliquer à tous les climats de la Planète. En fonction de la combinaison des saisons climatiques nous proposerons une série de modifications architecturales les plus adaptées a ce climat.

Pour mieux comprendre l'impact de ces «modifications architecturales», des modélisations thermique-dynamiques seront faites pour 6 périodes journalières représentatives des 6 journées types de la classification climatique. Des diverses modifications architecturales (que nous appellerons des actions architecturales par la suite) sont appliquées au modèle. Leur influence sur la consommation énergétique et son coût de construction sont analysés puis listés pour mieux classer les effets de chaque modification. Des fiches par action architecturale sont proposées pour mieux comprendre les enjeux de chaque action et leur faisabilité constructive.

Les actions architecturales seront classées par efficacité énergétique et par temps de retour sur investissement . Des analyses partielles par journée-type sont réalisés et deux maisons idéales par journée type seront proposées en fonction des économies d'énergie: la maison la plus performante et la maison la plus

rentable. Une méthode de combinaison d'actions architecturales sera proposée pour trouver la combinaison cohérente d'actions en fonction du climat du site. Ensuite nous proposerons les caractéristiques communes, un socle commun, de la maison en climat très chaud de la région du Moyen Orient.

La question representant la problematique peut se resumer ainsi :

Peut-on mettre en place une méthode accessible et robuste pour concevoir un projet de très basse consommation en climat chaud par des concepteurs peu familiarisés avec ce sujet ?

*Photo 1-1 Façade maintes fois vue qui montre l'échec de son architecture par l'installation des unités de AC pour pallier la surchauffe non gérée du logement. Sharjah, UAE. Crédit : FYu*

# 1 État des lieux de l'architecture en climat chaud

## 1-1- Contexte mondial

### 1-1-1- Localisation et caractérisation des pays dits à climat très chauds

Les zones les plus chaudes au monde se trouvent entre les latitudes 23ºN et 23ºS où le soleil frappe avec sa plus grande intensité due à sa faible inclination. Ailleurs, vers les pôles, le soleil a une incidence moindre à cause de son inclination croissante qui est filtrée davantage traversant un plus grand tronçon d'atmosphère et ayant en plus une aire effective perpendiculaire au rayonnement qui est inferieure.

Le terme « climat très chaud » est souvent confus dans notre culture occidentale. Les pays aux climats très chaud de notre planète sont par défaut classés dans la rubrique « climat désertique chaud » BWh selon la classification Koppen (Wladimir Köppen, 1900). Au début, Wladimir Köppen proposa cette classification en cinq

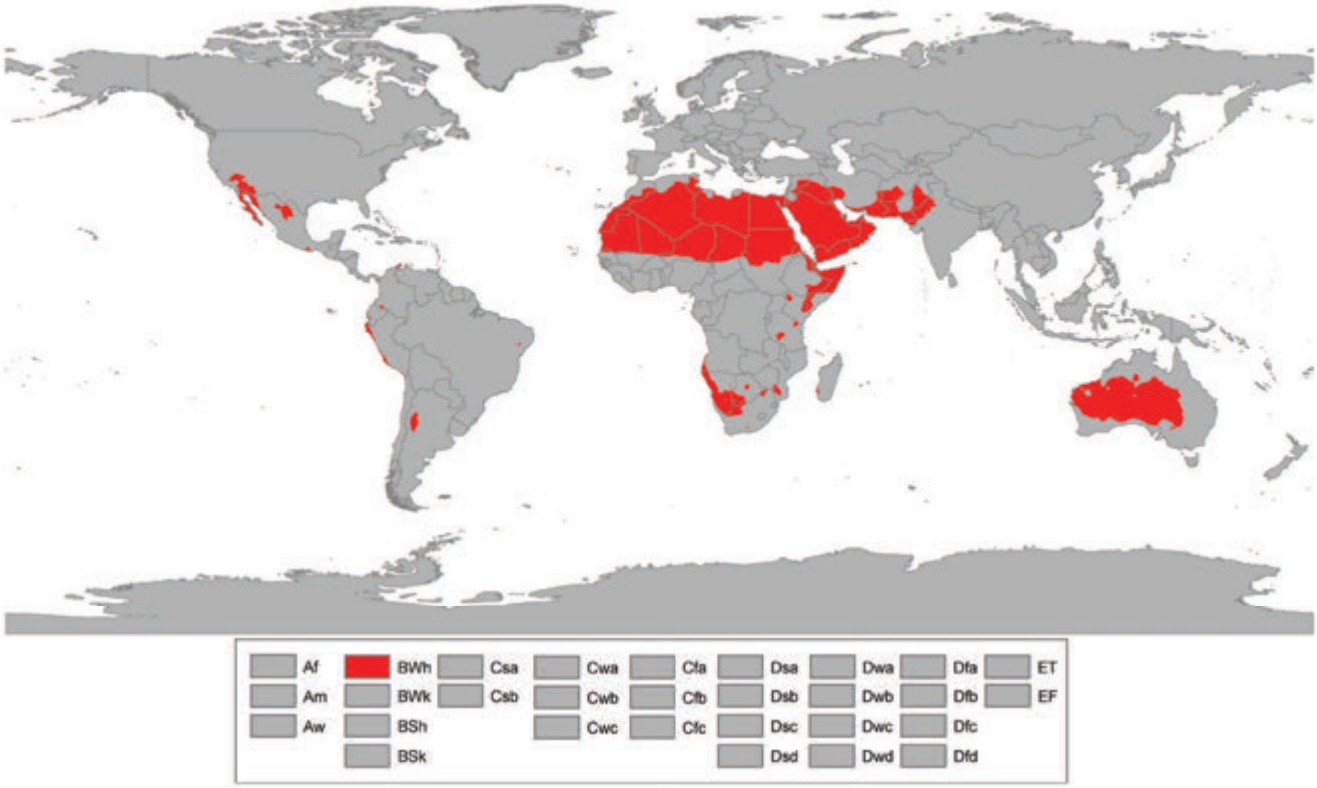



*Figure 1-1- Pays sous la classification Köppen du climat désertique chaud BWh*

groupes : Tropical, Aride, Tempéré, et Continental, et Polaire. Un sixième groupe fut rajouté plus tard : Hautes Steppes. Dans la classification B, Aride, les caractéristiques du classement sont une petite précipitation, une grande variation de température jour-nuit, et de grosses pertes de humidité par évaporation dues à la basse humidité relative. Pour classifier la notion de «petite precipitation» il utilise le parametre P :

*P=Température moyenne°*20+N*,

*N = une des trois valeurs : 280, 140, 0*
*(déterminée en fonction de la concentration des pluies le long de l'année, plus elles sont concentrées plus N est grand)*

Dans les cas où les précipitations annuelles sont au-dessous du tiers du seuil P, les pays sont considérés désertiques et ils sont classés en tant que BW. Si en plus d'être désertiques la température moyenne est en dessus de 18ºC il est classé h, de «hot». Ainsi les pays désertiques chauds sont classés dans la rubrique BWh de Köppen, (Figure 1-1).

Finalement ce terme englobe toute l'Afrique saharienne, le sud de l'Afrique autour de la Namibie, l'Arabie, le sud de l'Inde, le sud des États Unis et le centre de l'Australie. Cependant dans cette classification tous les pays ne subissent pas les mêmes températures, et notamment les pays de la péninsule arabique où tous les

records de températures sont atteints. Ces pays que nous pourrions classer de «très chauds» ou «extrêmement chauds» n'ont pas une classification spécifique même si leurs hautes températures et leurs longues périodes de chaleur permettraient de créer une classification spécifique.

La ASHRAE comporte, dans sa norme 90.1, une classification de climat 1b «very hot and dry climate» et englobe les pays avec des conditions de température a plus de 5000 Cooling Dégrées Days (DJR) à partir d'une température de 10ºC. Selon cette méthode, des villes comme Riyad (6026 DJR à 10ºC) et Medine (7077 DJR à 10ºC) seraient largement dans cette catégorie. Cependant avec les mêmes critères, des villes comme Phoenix, Arizona, a 5509 DJR, ne présente pas un climat aussi sévère que celui des villes arabes et pourtant elle se trouve dans la même catégorie.

### 1-1-1-1 Où se situent les mégapoles les plus chaudes de la planète?

Nous souhaitons centrer notre étude sur la basse consommation énergétique. Dans ce cadre, les questions qui nous reviennent souvent sont : quels sont les pays a fort potentiel de consommation energetique à l'échelle de la Planète? Quelles sont les villes les plus chaudes, d'un point de vue de l'usage de la climatisation? Selon quels critères pouvons-nous les classer?. Le choix des critères n'est pas sans conséquence. Si nous cherchons à classer les endroits les plus inhospitaliers, les critères de classification sont les critères de température maximale, ou de température moyenne journalière. Cependant si nous cherchons à classer les endroits avec le potentiel de dépense en climatisation le plus important, le critère de température maximale n'est plus valable, car les dépassements de températures de confort journalier le long de l'année devient le critère le plus pertinent.

Afin de localiser à l'échelle mondiale ces zones très chaudes, nous nous sommes basés sur des critères de dépassement des paramètres de confort. Ainsi nous nous baserons sur le degré-jour de refroidissement à partir de 26ºC. La température de base de 26°C pour les CDD est communément utilisée et nous permettra de comparer la rigueur des climats, cependant elle n'est pas représentative du confort. Nous sommes concients que du point de vue réglementaire en bâtiment non climatisé la norme européenne définie une température de confort adaptative souvent plus elevée que 26ºC en fonction de l'évolution du climat, ce qui traduit à la fois une adaptation en termes d'habillement, mais aussi d'acclimatation physiologique. Mais pour établir une premiere approche de la rigueur des climats nous considerons que le seuil du 26ºC reste valable. Nous allons analyser la somme de ses valeurs mensuels pour une période de un an et la valeur du mois d'été le plus chaud. Cette démarche de caractérisation sera développée plus tard dans notre document mais il faut d'ores et déjà dire que les zones classées comme très chaudes sont les villes du sud-ouest de l'Iran, quelques villes au nord de Soudan et Niger et la large majorité des villes de la péninsule Arabique, à l'exception des villes dans des zones montagneuses, et de la partie Sud d'Oman et du Yémen. Nulle part ailleurs, dans aucun des pays réputés pour avoir des zones climatiques chaudes comme les États Unis, Australie, Inde… etc, les conditions atteignent celles des lieux mentionnés ci-dessus. La valeur des degré-jour exprime bien le dépassement sur la température de confort tout au long d'une année, ce qui est en lien direct avec le besoin potentiel d'utilisation de la climatisation et donc des dépenses énergétiques. Et plus particulièrement les degrés-jour de rafraîchissement (DJR), en anglais cooling degree days (CDD). Ce paramètre permet de caractériser le besoin qu'un bâtiment, placé sous un certain climat, aura à utiliser des moyens de climatisation. Vu que la classification ASHRAE est la plus précise dans le cas des pays chauds, mais aussi vu que cette classification ne pas assez sélective, à notre avis, pour classer des villes des pays du Moyen Orient, nous proposons une variante de classification se basant sur la consommation énergétique observée une fois dépassé le seuil de la température de confort que nous allons établir à 26ºC pour le moment. Ainsi nous avons analysé les degrés-jour de rafraîchissement des villes importantes des pays les plus chauds des cinq continents :

Europe : Italie, Espagne, France et Grèce. La France est étudiée pour avoir un réfèrent connu.
Asie : Arabie Saoudite, Oman, Émirats Arabes, Qatar, Koweït, Barri, Iran, Irak, Yémen,
Jordanie, Palestine, Inde et Pakistan
Afrique : Soudan, Chad, Niger, Burkina Faso, Mali, Maroc, Sénégal, Cameroun.
Amérique : États Unis, Mexique, Cuba.
Océanie: Australie

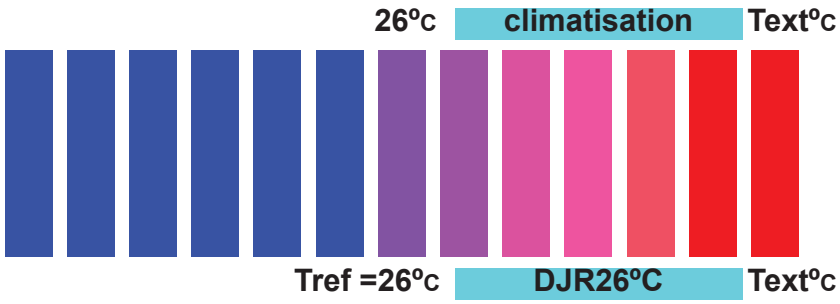



*Figure 1-2 Principe de l'utilisation du Degré Jour de Refroidissement (DJR) comme indicateur du potentiel de consommation énergétique.*

Les degrés-jour de rafraîchissement sont mesurés à partir de la température que nous considérons au-dessus du seuil de confort intérieur : 26ºC. Il n'intègre pas d'autres paramètres de confort comme l'humidité et la vitesse du vent, cependant une température de 26ºC marque bien la tendance d'utilisation des moyens mécaniques pour rafraîchir, et donc nous considérons que les DJR26ºC est un bon indicateur. Si nous plaçons de manière un peu arbitraire, à 1500 DJR26ºC la frontière entre les pays à climat chaud et à climat très chaud, la liste des pays se raccourcit :

Asie : Arabie Saoudite, Oman, Émirats Arabes, Qatar, Koweït, Barri, Iran, et Irak

Afrique : Soudan, Chad, Niger, Mali,

Nous pouvons voir les résultats des DJRº26 annuels par pays mais aussi par mois (Figure 1-4 et annexes). La grande ville la plus chaude au monde est La Mecque (KSA) selon ces critères, suivie de Médine (KSA) et de Khartoum (Soudan) (Figure 1-2). La classification par mois le plus chaud en énergie est différente, et ce sont des villes d'Iran et d'Irak que l'emportent. Et même si énergétiquement n'est pas déterminante, cette donnée peut aussi servir à déterminer les villes qui sont à risque de pic de demande pendant les mois d'été, avec des conséquences importantes : besoin d'infrastructure supplémentaire, panne d'électricité, inconfort, danger pour

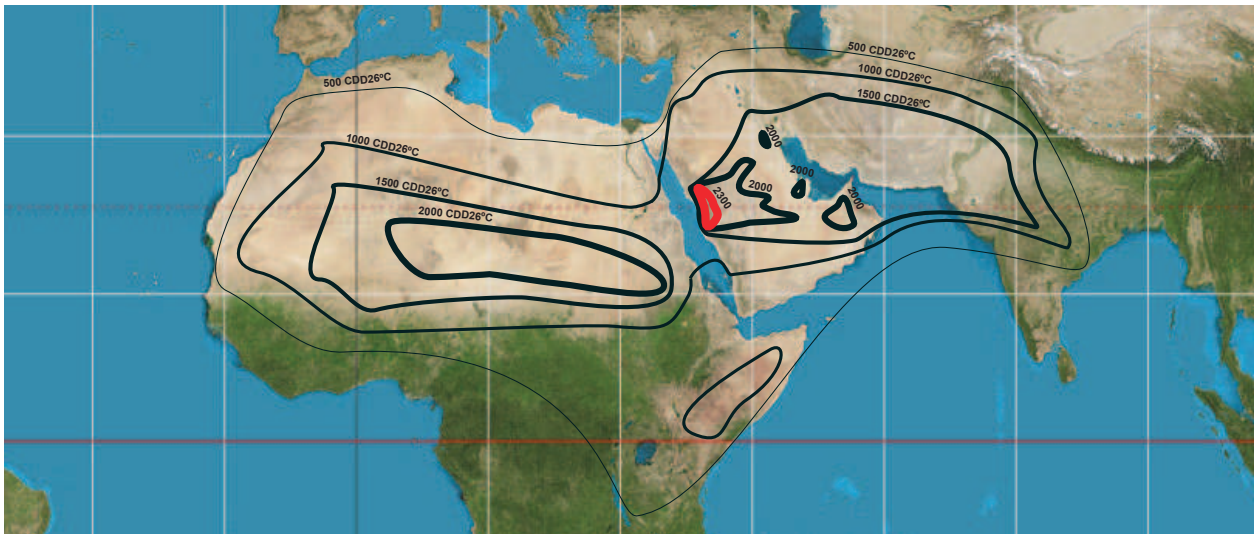



*Figure 1-3 Courbes de niveaux DJR26ºC sur les cartes politique et physique du monde*

| Description: | Celsius-based 2-year-average (2014 to 2015) cooling degree days for a base temperature of 26,0C | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Source: | www.degreedays.net | | | | | | | | | | | | |
| Station: | Airports | | | | | | | | | | | | |
| | **CDD 26ºC** | | | | | | | | | | | | |
| | Annual | Month | | | | | | | | | | | |
| | **TOTAL** | **janvier** | **février** | **mars** | **avril** | **mai** | **juin** | **juillet** | **août** | **eptembı** | **octobre** | **ovembı** | **lécembı** |
| **EUROPE** | | | | | | | | | | | | | |
| **ESPAGNE** | | | | | | | | | | | | | |
| VALENCIA | **163** | 0 | 0 | 1 | 1 | 8 | 21 | **55** | 48 | 23 | 6 | 0 | 0 |
| SEVILLA | **305** | 0 | 0 | 1 | 4 | 35 | 54 | **99** | 84 | 21 | 6 | 0 | 1 |
| MADRID | **253** | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 44 | **108** | 71 | 17 | 1 | 0 | 0 |
| ZARAGOZA | **144** | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 32 | **55** | 38 | 12 | 1 | 0 | 0 |
| CACERES | **267** | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 56 | **105** | 70 | 16 | 0 | 0 | 0 |
| **FRANCE** | | | | | | | | | | | | | |
| BORDEAUX | **46** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | | | | | | |
| TOULOUSE | | | | | | | | | | | | 0 | 0 |
| | **293** | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 40 | **97** | 108 | 38 | 2 | 0 | 0 |
| **MOYEN ORIENT** | | | | | | | | | | | | | |
| **KSA** | | | | | | | | | | | | | |
| RIYADH | **1630** | 1 | 6 | 22 | 102 | 218 | 272 | **327** | 326 | 223 | 123 | 10 | 0 |
| DJEDDAH | **1509** | 21 | 28 | 61 | 99 | 159 | 177 | **240** | 261 | 198 | 154 | 76 | 35 |
| MEDINAH | **2061** | 6 | 16 | 64 | 136 | 249 | 314 | **333** | 392 | 322 | 189 | 34 | 6 |
| MAKKAH | **2324** | 44 | 59 | 115 | 182 | 271 | 308 | **340** | 338 | 290 | 221 | 104 | 52 |
| NAJRAN | **1186** | 7 | 24 | 53 | 91 | 148 | 186 | **234** | 214 | 146 | 63 | 18 | 2 |
| GIZAN | **2017** | 45 | 48 | 98 | 159 | 230 | 250 | **274** | 267 | 235 | 200 | 136 | 75 |
| **KOWAIT** | | | | | | | | | | | | | |
| KOWAIT CITY | **1994** | 0 | 1 | 8 | 95 | 245 | 361 | **432** | 411 | 295 | 142 | 4 | 0 |
| **QATAR** | | | | | | | | | | | | | |
| DOHA | **1815** | 1 | 2 | 11 | 105 | 247 | 304 | **350** | 320 | 261 | 181 | 32 | 1 |
| **BAHRAIN** | | | | | | | | | | | | | |
| BAHRAIN | **1555** | 0 | 1 | 4 | 63 | 199 | 251 | **303** | 301 | 248 | 165 | 20 | 0 |
| **UAE** | | | | | | | | | | | | | |
| DUBAI | **1769** | 1 | 12 | 26 | 100 | 221 | 259 | **334** | 339 | 249 | 179 | 45 | 4 |
| AL AIN | **1919** | 1 | 15 | 43 | 144 | 256 | 297 | **362** | 347 | 255 | 159 | 35 | 5 |
| ABU DHABI | **1698** | 2 | 15 | 34 | 99 | 217 | 242 | **322** | 329 | 236 | 161 | 38 | 3 |
| **IRAN** | | | | | | | | | | | | | |
| ABADAN | **1732** | 0 | 0 | 8 | 83 | 219 | 317 | **370** | 366 | 250 | 116 | 3 | 0 |
| ABADEH | **235** | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 66 | **80** | 61 | 18 | 2 | 0 | 0 |
| BANDAR LENGEH | **1331** | 0 | 1 | 5 | 59 | 156 | 213 | **264** | 266 | 207 | 134 | 25 | 1 |
| ANWAZH | **1840** | 0 | 1 | 8 | 85 | 232 | 340 | **402** | 388 | 266 | 115 | 3 | 0 |
| MASJED SOLIMAN | **1800** | 0 | 0 | 3 | 64 | 212 | 332 | **420** | 399 | 266 | 103 | 1 | 0 |
| **IRAK** | | | | | | | | | | | | | |
| NAJAF | **1790** | 0 | 0 | 7 | 77 | 209 | 301 | **407** | 405 | 280 | 103 | 1 | |
| FRONTIERE KSA | **1414** | 0 | 0 | 8 | 54 | 162 | 230 | | | | | | |
| **OMAN** | | | | | | | | | | | | | |
| FAHUD | | | | | | | | | 50 | 29 | 8 | 0 | 0 |
| | | | | | 55 | 123 | 158 | **228** | 259 | 174 | 76 | 10 | 1 |
| JERUSALEM | **315** | 0 | 1 | 3 | 11 | 29 | 31 | **59** | 93 | 66 | 19 | 3 | 0 |
| **AFRIQUE** | | | | | | | | | | | | | |
| **SUDAN** | | | | | | | | | | | | | |
| KHARTOUM | **2056** | 45 | 76 | 167 | 215 | 294 | 292 | **231** | 173 | 204 | 220 | 100 | 39 |
| **CHAD** | | | | | | | | | | | | | |
| N'DJAMENA | **1543** | 53 | 100 | 191 | 219 | 254 | 206 | **108** | 53 | 73 | 133 | 113 | 40 |
| **NIGER** | | | | | | | | | | | | | |
| AGADEZ | **2008** | 28 | 64 | 139 | 212 | 298 | | | | | | 1 | 0 |
| NIAMEY | **1776** | 58 | | | | | | | | | | | |
| **BURKINA FASO** | | | | | | | | | | | | | |
| | **1154** | 8 | 35 | 93 | 187 | 284 | 192 | **88** | 65 | 64 | 75 | 44 | 19 |
| INDORE | **807** | 0 | 14 | 59 | 140 | 223 | 140 | **51** | 23 | 39 | 74 | 36 | 8 |
| NEW DELHI | **1461** | 426 | 252 | 163 | 34 | 5 | 1 | **1** | 0 | 4 | 45 | 166 | 364 |
| **PAKISTAN** | | | | | | | | | | | | | |
| PANJGUR | **1036** | 0 | 1 | 9 | 72 | 151 | 234 | **232** | 179 | 101 | 55 | 2 | 0 |
| PASNI | **817** | 1 | 3 | 21 | 73 | 129 | 178 | **131** | 80 | 78 | 82 | 36 | 5 |
| KARACHI | **1035** | 2 | 8 | 43 | 108 | 152 | 193 | **143** | 107 | 109 | 110 | 50 | 10 |
| **OCEANIE** | | | | | | | | | | | | | |
| **AUSTRALIA** | | | | | | | | | | | | | |
| ALICE SPRINGS | **658** | 108 | 99 | 90 | 23 | 3 | 0 | **0** | 3 | 18 | 88 | 112 | 114 |

*Figure 1-4 Extrait du tableau DJR26ºC (CDD26ºC en anglais) des métropoles les plus chaudes au monde.*

les personnes âgées… Compte tenu du fort potentiel de développement résidentiel et d'équipement des villes de la Péninsule arabique, nous allons centrer ces études sur le climat des villes importantes de la péninsule, comme Jeddah, Riyad, et Dubaï. Même si cette sélection n'est pas limitative, toutes les informations venant de cette zone serviront à notre étude. Ainsi nous profiterons aussi des visites que nous entretenons régulièrement avec la Cisjordanie pour approfondir les faisabilités de nos propositions face à des économies plus faibles. Dans la suite de ce premier exercice, nous avons entamé un dessin de isolignes par valeur annuel de DJR26ºC et les courbes de niveaux coïncident avec la position géographique du Tropique du Cancer, Figure 1-3.

## 1-1-2- Les dépenses énergétiques des pays au climat chaud dans le contexte global

Les dépenses énergétiques des pays à climat très chaud, parmi les plus élevés au monde, avec Bahrein et Qatar en tête des pays chauds, loin devant des pays très consommateurs comme les États Unis, (Figure 1-5). Même si une partie de ces consommations s'est stabilisée dans les dernières années pour les pays du Golfe les plus développés, comme les UAE ou le Qatar, cette stabilisation est faite à des niveaux très hauts de consommation. D'autres pays comme Arabie Saoudite, beaucoup plus grands, n'ont pas encore atteint ces niveaux de consommation, cependant l'évolution de leur consommation énergétique ne s'est pas stabilisée et continue à augmenter chaque année. Les impacts sur l'environnement, la qualité de l'air et le prix du carburant (CIBSE 2014) invitent maîtres d'ouvrage et concepteurs à revoir les niveaux de consommation énergétique des bâtiments. Les nouvelles constructions des dernières années dans les pays du moyens orient ont eu une croissance exponentielle et les consommations énergétiques ont fait de même.

### 1-1-2-1 La genèse du phénomène de la climatisation aux USA.

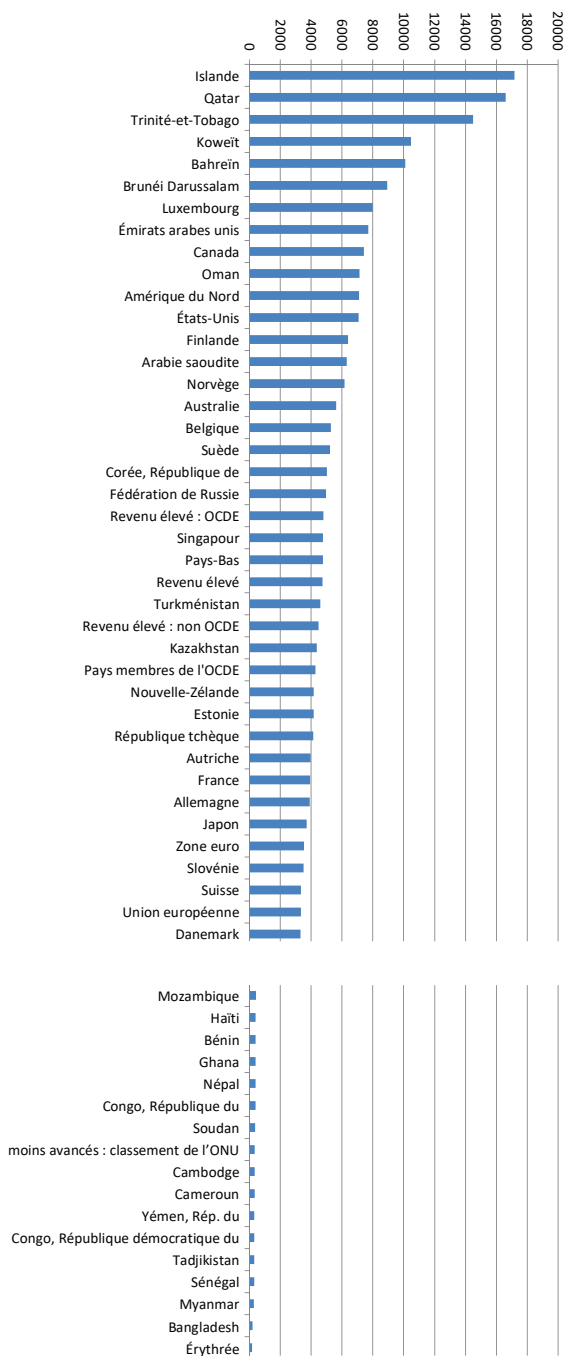
Phoenix, en Arizona, est un des endroits les plus chauds des États-Unis, et son développement est intiment lié aux développements des technologies de refroidissement. Nous avons rassemblé des exemples bibliographiques qui témoignent des excès et de l'évolution des modes de vie du fait de la climatisation dans la région autour de Phoenix et puis ailleurs dans le Sud des USA.

La climatisation aux USA et puis dans le reste du monde développé est rapidement passée d'un luxe à un besoin (Stan Cox-2010). Tandis que les premières générations avaient dû réfléchir a l'utiliser ou pas, les générations suivantes le considèrent comme un acquis et un élément de première nécessité. En 1992 après la publication «On Condis and dooloth» dans le journa*l Energy and Buildings,* le professeur Gwyn Prins, discuté de l'effet d'addiction des usagers à l'usage de la climatisation en la qualifiant «la plus perverse et inaperçue de toutes les épidémies des États-Unis» et comment, dans le subconscient des citoyens, est passée dans la catégorie de besoin basique pour la survie. Ackermann dans son livre «Cool comfort: America's Romance with Air-Conditioning» (Marsha Ackermann-2002) prône pour une acceptation intelligente du refroidissement tout en ne prétendant pas la bannir, car cela reste depuis des décennies impossible, elle finit le livre avec la phrase « pour le mieux ou pour le pire, le monde de demain sera climatisé». La ville de Phoenix en Arizona décrite en 1940 comme la «Capitale de la Climatisation» ( Michael Logan 2006) a subi une augmentation relative à une ville similaire, Peoria Illinois, passant de 50% de la population de Peoria en 1930 à plus de 1400% en 2006. Logan décrit comment la climatisation a permis aux humains de coloniser des lieux auparavant inimaginables de le faire, car les systèmes de climatisation procurent aussi, outre une température agréable, des barrières contre la pollution et la poussière. Par contre son usage dans un environnement hostile favorise chez les utilisateurs un risque d'obésité infantile liée au fait que face aux températures extérieures et au manque d'adaptation à l'environnement extérieur, les enfants restent souvent confinés à l'intérieur de la maison.

Dans le camp des militants pour l'environnement (Stan Cox-2010) il a eu certaines expérimentations sur des familles de la classe moyenne habitant à Phoenix qui ont testé l'expérience de passer une année sans climatisation, même si au travail ils en avaient. Ils les avaient déconnecté chez eux et ils racontaient leur expérience : comment après quelques mois ils pouvait apprécier l'extérieur même si les températures étaient hautes, et comment ils changeaient leurs habitudes pour mieux faire face à la chaleur, comme par exemple s'organiser pour toujours profiter des courants d'air qui refroidissent la peau ou comment la pratique cycliste devenait possible après adaptation sous climat chaud.

Les Etats Unis, dans le cadre d'une migration de la population vers des zones plus tempérées et chaudes, ont réussi à descendre les degrés-jour de Chauffage (DJC à 19º) de 4822DJC en 1950 à 4260DJC en 2007 (National Climatic Data Center-2008) alors que les Dégrées Jour de Refroidissement (DJR à 26ºC) sont passés de 1217DJR à 1424DJR, le total en 1950 de degrés-jour était 6% supérieur à la situation actuelle, par contre la consommation globale est restée très proche (Stan Cox-2010). Ces valeurs peuvent être expliqués par plusieurs phénomènes concomitants : l'effet du réchauffement climatique et l'évolution de la consommation énergétique des populations qui n'ont pas su, malgré les innovations et les avancées technologiques, mener une réduction de leurs dépenses énergétiques liées au confort thermique, depuis 1950.

Miami, Floride, encore une ville qui a vu son développement liée aux technologies de climatisation, la chaleur seule est moins problématique que la combinaison de la chaleur avec une humidité liée à ses plaines




| Country Name | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | AVERAGE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Utilisation d'énergie (kg d'équivalent pétrole par habitant) | | | | | | EG.USE.PCAP.KG.OE |
| Islande | 16868 | 16905 | 16882 | 17964 | 17756 | 16679 | 17176 |
| Qatar | 16376 | 15230 | 15882 | 16793 | 18813 | | 16619 |
| Trinité-et-Tobago | 14113 | 14199 | 15102 | 14780 | 14332 | | 14505 |
| Koweït | 10662 | 10948 | 10526 | 10040 | 10121 | | 10459 |
| Bahreïn | 11406 | 10217 | 9871 | 9552 | 9450 | | 10099 |
| Brunéi Darussalam | 9301 | 7861 | 8239 | 9696 | 9526 | | 8924 |
| Luxembourg | 8601 | 7944 | 8322 | 8044 | 7707 | 7327 | 7991 |
| Émirats arabes unis | 8432 | 7780 | 7415 | 7325 | 7536 | | 7698 |
| Canada | 7952 | 7411 | 7390 | 7367 | 7226 | 7149 | 7416 |
| Oman | 6459 | 6213 | 7581 | 7953 | 7424 | | 7126 |
| Amérique du Nord | 7534 | 7092 | 7184 | 7063 | 6856 | 6933 | 7110 |
| États-Unis | 7488 | 7057 | 7162 | 7029 | 6815 | 6909 | 7077 |
| Finlande | 6649 | 6242 | 6808 | 6464 | 6151 | 5933 | 6374 |
| Arabie saoudite | 5852 | 6077 | 6600 | 6184 | 6789 | | 6300 |
| Norvège | 6237 | 6171 | 6621 | 5652 | 5817 | 6487 | 6164 |
| Australie | 5764 | 5628 | 5560 | 5500 | 5644 | 5592 | 5615 |
| Belgique | 5487 | 5209 | 5544 | 5369 | 5028 | 5020 | 5276 |
| Suède | 5380 | 4883 | 5428 | 5275 | 5269 | 5001 | 5206 |
| Corée, République de | 4639 | 4661 | 5060 | 5232 | 5268 | 5222 | 5014 |
| Fédération de Russie | 4823 | 4531 | 4925 | 5166 | 5283 | | 4946 |
| Revenu élevé : OCDE | 4993 | 4732 | 4872 | 4741 | 4668 | 4673 | 4780 |
| Singapour | 5052 | 4092 | 5005 | 4993 | 4716 | | 4772 |
| Pays-Bas | 4837 | 4729 | 5021 | 4638 | 4690 | 4594 | 4751 |
| Revenu élevé | 4853 | 4612 | 4791 | 4705 | 4678 | 4673 | 4719 |
| Turkménistan | 4610 | 3991 | 4497 | 4839 | 4943 | | 4576 |
| Revenu élevé : non O | 4374 | 4205 | 4516 | 4585 | 4712 | | 4478 |
| Kazakhstan | 4457 | 3944 | 4235 | 4671 | 4458 | | 4353 |
| Pays membres de l'O | 4465 | 4231 | 4350 | 4243 | 4182 | 4174 | 4274 |
| Nouvelle-Zélande | 4085 | 4062 | 4204 | 4149 | 4301 | 4188 | 4165 |
| Estonie | 4105 | 3649 | 4223 | 4238 | 4174 | 4476 | 4144 |
| République tchèque | 4331 | 4034 | 4248 | 4103 | 4057 | 3935 | 4118 |
| Autriche | 4041 | 3811 | 4080 | 3951 | 3928 | 3928 | 3956 |
| France | 4113 | 3917 | 4016 | 3850 | 3844 | 3827 | 3928 |
| Allemagne | 4035 | 3789 | 4004 | 3801 | 3886 | 3874 | 3898 |
| Japon | 3867 | 3689 | 3895 | 3614 | 3546 | 3560 | 3695 |
| Zone euro | 3713 | 3496 | 3619 | 3479 | 3447 | 3408 | 3527 |
| Slovénie | 3828 | 3452 | 3532 | 3547 | 3401 | 3185 | 3491 |
| Suisse | 3501 | 3483 | 3348 | 3207 | 3203 | 3302 | 3341 |
| Union européenne | 3497 | 3287 | 3411 | 3283 | 3254 | 3296 | 3338 |
| Danemark | 3503 | 3330 | 3511 | 3229 | 3101 | 3123 | 3300 |
| Mozambique | 403 | 406 | 407 | 411 | 406 | | 406 |
| Haïti | 384 | 383 | 380 | 387 | 396 | | 386 |
| Bénin | 365 | 372 | 384 | 385 | 390 | | 379 |
| Ghana | 359 | 367 | 381 | 385 | 397 | | 378 |
| Népal | 366 | 373 | 380 | 389 | 367 | | 375 |
| Congo, République du | 331 | 361 | 375 | 401 | 400 | | 374 |
| Soudan | 362 | 364 | 362 | 352 | 342 | | 356 |
| Pays les moins avanc | 330 | 338 | 345 | 348 | 351 | | 342 |
| Cambodge | 252 | 347 | 350 | 365 | 370 | | 337 |
| Cameroun | 327 | 344 | 338 | 322 | 323 | | 331 |
| Yémen, Rép. du | 320 | 333 | 354 | 286 | 278 | | 314 |
| Congo, République d | 301 | 300 | 301 | 310 | 292 | | 301 |
| Tadjikistan | 338 | 288 | 287 | 281 | 286 | | 296 |
| Sénégal | 256 | 306 | 303 | 311 | 300 | | 295 |
| Myanmar | 295 | 277 | 271 | 274 | 291 | | 281 |
| Bangladesh | 180 | 188 | 202 | 207 | 214 | | 198 |
| Érythrée | 150 | 158 | 159 | 160 | 163 | | 158 |

*Figure 1-5 Niveau des consommations énergétiques per capita en EG.USE.PCAP.KG.OE (kg d'équivalent pétrole par habitant) des pays les plus et les moins consommateurs. Source: ONU*

inondées comme les Everglades Les anciens habitants (Stan Cox-2010) décrivent leur expérience de l'avant et après la climatisation comme un élément qui avait totalement coupé les quartiers de la vie sociale qui se faisait autour des arbres ou porches ombragés dans les après-midis après le travail, et comment toute l'architecture vernaculaire avec les porches ombragés, les ouvertures vers les côtés arborés des parcelles, les double toits ventilés..etc. n'est plus d'actualité influencé par une architecture sous perfusion de la climatisation intérieure. La capacité d'acceptation de l'inconfort (Rothchild-1985) était bien plus importante avant l'arrivée des climatiseurs. Il décrit une époque où les gens se plaisaient bien dehors, et le porche des maisons était le centre de l'activité familiale tout le long de l'année. Les premiers conflits qui sont arrivés du fait des installations de la climatisation furent liées aux bruits produits par les unités de climatisation où les voisins de celui qui l'installait devaient fermer les fenêtres pour ne pas entendre le bruit des unités extérieures. Après certains cas où parfois se mêlaient les armés à feux, la société a commencé à fermer ses fenêtres et à installer partout la climatisation. «Ce fut un point de non retour» dit Rothchild dans son livre sur l'évolution de l'usage de la climatisation en climat chaud aux USA ( Arsenault-1984) qui commence avec 12% des ménages en 1960, 55% en 1980 et 82% en 2005, mais aussi entre 2005 et 1992 la consommation par ménage a augmenté de 37%. L'augmentation des consommations est due à deux facteurs différents, la quantité et l'intensité d'usage par ménage, dûs à leur tour à l'augmentation de la surface habitable des maisons.

En 2010, les USA sont leader mondial de la consommation d'énergie pour la climatisation par habitant

et au total par pays (Stan Cox-2010). Après réflexion de la communauté scientifique, avec des experts du GIEC, «The Stern Review on the Economics of Climate Change» et celle de «2000 Watt Society Challenge», à partir de leur rapport *Ressources, Conservation and Recycling nº 44 - 2005*, les conclusions sont unanimes : pour rentrer dans une logique et solidaire à l'échelle mondiale face au changement climatique, le pays, USA, devrait réduire ses émissions de 80% à 90% en 2050. Des réflexions similaires sont faites pour les pays européens, avec une demande de réduction de 60% des consommations en climatisation. Actuellement aux USA (Levy-2003) plus de 46 millions de foyers sont mal isolés et le coût pour les isoler représente 37000M$ et on estime les économies d'énergie sur 50 ans à 80 000 M$. Dans les régions les plus énergivores des USA, le Sud, la consommation moyenne par foyer est passée de 3 078 kWh/an en 1993 à 4 300 kWh/an en 2005 (*American Energy Information Administration*, 1993 et 2005). Toute cette augmentation de la demande implique des moments pics qui souvent dimensionnent les infrastructures énergétiques. En 2007 pour la première fois le pic de demande énergétique de l'été dépassa celle des saisons hivernales, et il continue à augmenter de manière graduelle année après année.

Est très significatif le phénomène que explora le New York Times durant une journée chaude du mois de Juillet de 2005 : plus les magasins sont considérés comme «de grand classe» plus ils descendent les températures à l'intérieur. Ainsi ils constatèrent les températures suivantes dans les différents magasins de la ville : Old Navy 26,83ºC, Levis Store 24,88ºC, Club Monaco 23,3ºC, Bloomingdale's 21,55ºC et Bergdorf Goodman 20,16ºC.

### 1-1-2-2 Quelques faits autour de la planète du climat chaud

Entre 1997 et 2007 le nombre de familles chinoises qui possèdent un système de climatisation à la maison est multiplié par trois, cela représente un chiffre de vente de 20M de nouvelles unités par an (Simon

*Photo 1-2- Rue extérieure climatisée a Dubaï City Walk, Dubaï. Crédit : FYu*

Wang-2008). En Inde les experts se rendent compte que face à l'augmentation de la pollution urbaine les familles de la classe moyenne commencent une transition vers un style de vie bien plus tourné vers l'intérieur de la maison a un tel point que le moteur de ce phénomène de introversion domestique est maintenant dépassé par la climatisation à la place de la télévision. A Dubaï dans le nouveau centre commercial «Dubaï City Walk» au 45 Al Safa Street, (Photo 1-2), les extérieurs de la promenade à pied sont climatisés par des souffleurs qui renvoient aux promeneurs un air à 24ºC déshumidifié. L'expérience est pour le promeneur mitigée à cause des bruits des souffleurs et des courants d'air très perceptibles.

### 1-1-2-3 Un pays au climat très chaud : le cas de l'Arabie Saoudite

Le problème de l'Arabie Saoudite est très symptomatique des pays producteurs de pétrole, où l'abondance énergétique devient une raison importante pour mettre en place d'urgence un important plan d'économie d'énergie et maîtrise des consommations. Les causes sont une combinaison de haute demande interne qui représente tout de suite un gros manque à gagner financier dans les exportations de petrole à l'internationale. A cette perte nette s'ajoute un deuxième facteur : les fortes subventions de l'énergie qui fournissent à perte, l'électricité et le combustible, aux ménages. Facteurs que le bas prix du pétrole et les hauts taux de croissance de la population ne risque pas d'arranger. En mars 2015, l'IFRI, l'Institut Français des Relations Internationales, publia un document intitulé «The Saudi electricity sector: pressing issues and challenges» (Said NACHET et Marie-Claire AOUN-2015) où ils montraient l'envergure des enjeux énergétiques de ce pays et qui peut être interprété comme représentatif de la situation des autres pays du Moyen Orient producteurs du pétrole sous conditions de libre commerce : sans embargo ou sans conflit armé récent,et donc avec des données macro-économiques très favorables à leur économie. La croissance soutenue de 5 % environ pendant de nombreuses années a été couplée avec une amélioration du niveau de vie et des indicateurs sociaux. L'éducation de la population a été une priorité des différents gouvernements avec des dépenses publiques importantes aux alentours du 8 % du PIB, et aujourd'hui la population a un niveau éducatif très acceptable. Le pays est le 6ème plus grand consommateur de pétrole au monde, avec plus de 3 millions de barils par jour de consommation domestique. Ce chiffre a doublé depuis 2000 avec une consommation en toe (tonnes équivalent en pétrole) per capita en 2012 de 6.7 toe/hab, comparé à 7 toe/hab pour les US, 3.2 toe/hab pour l'UE et 1.9 toe/hab pour la moyenne mondiale.

Dans les négociations au sein de l'ONU autour la question du changement climatique, le royaume est très actif puisqu'il est conscient que ses intérêts passent par une consommation prolongée de la seule ressource qui marque sa richesse à ce jour, le cru. Il ne cesse de faire valoir lors des discussions a haut niveau les besoins de comprendre davantage la vulnérabilité des pays qui comme eux, dépendent très fortement d'une seule ressource (IFRI 2015).

Associé à l'augmentation de la population et des changement d'habitudes du mode de vie, pendant les derniers 10 ans, la consommation énergétique a eu une augmentation annuelle de 7.5%. Les pics de consommation en été sont responsables de 93% de cette augmentation : les besoins en puissance en période estivale ont passé de 28GW à 54GW (ECRA 2014). Ces augmentations saisonnières sont évidemment associées à la climatisation, et le secteur résidentiel est particulièrement responsable de ces consommations car il représente 50% de la production total d'électricité du royaume. Le reste est ventilé entre l'industrie (21 %), le commerce (15 %) et les institutions publiques (12 %).

L'Arabie Saoudite est considérée comme un état rentier (Beblawi et Luciani-1990) et comme bien d'autres états producteurs de pétrole, les subventions en produits dérivés du pétrole sont vues comme une façon de redistribuer directement les richesses de la vente des hydrocarbures vers la population, une sorte de contrat social entre le peuple et les autorités. En effet chez toutes les puissances exportatrices de cru dans les pays du Moyen Orient le prix de l'énergie reste fortement subventionné (IEA Subsidies Database-2013), ceci étant un bon moyen de maintenir auprès de leur population une hausse supplémentaire du pouvoir d'achat. Cette pratique a été généralisée même auprès des pays moins riches, le prix de l'énergie est un paramètre si sensible que la majorité des gouvernements peinent à donner à l'énergie son juste prix sous peine de mobilisations et mécontentements parfois très violents. Ainsi le prix de l'essence sont parmi le plus bas du monde, et de la même façon les prix du combustible fournit aux producteur d'électricité sont infimes en rapport à son prix à l'export, ceci laisse imaginer l'importance des subventions financés par le gouvernement pour alléger la facture finale d'électricité des ménages (IFRI 2015).

A cause de cette disponibilité en hydrocarbures pour la production en électricité, le pays est le plus grand producteur d'électricité par le pétrole au monde. La production d'électricité est aujourd'hui pratiquement à 100% issue des hydrocarbures et la situation ne semble pas prête à changer rapidement (KAPSARC analyses, *Energy Information Administration pour 2020*).

Dans des scénarios d'éventuelles dérégulations ou ajustements des prix de l'énergie, la part des énergies renouvelables et nucléaire monteraient considérablement (Segar - *Saudi Energy Mix* - 2014). Cependant cela n'est pas encore le cas et l'horizon le plus probable pour les pays producteurs de pétrole du Moyen Orient reste la dépendance aux hydrocarbures pour la production d'électricité, qui couplé avec les hautes consommations per capita multiplie la génération de GES par le secteur résidentiel.

### 1-1-2-4 Principaux enjeux énergétiques du secteur résidentiel

La consommation en climatisation représente 70% de l'électricité fournie par les entreprises d'électricité saoudiennes (ECRA 2014). Avec le prix de l'énergie basse grâce aux subventions, l'efficacité énergétique des bâtiments n'est pas encore au rendez-vous malgré les nombreux enjeux associés, et notamment l'existence des pics de demande énergétique liée aux sur-consommations dues à la climatisation en été. L'importance de ces pics est telle qu'elle oblige les gouvernements à s'équiper de centrales de génération électrique d'appoint de grande ampleur. En outre l'augmentation des tarifs publics n'étant pas envisageable à court terme, l'augmentation substantielle de l'efficacité énergétique du parc immobilier devient un objectif incontournable. Le gouvernement Saoudien est conscient de ces enjeux et il a commencé à établir des politiques d'efficacité énergétique ainsi que des programmes comme le *Saudi Energy Efficiency Center* (SEEC) créé en 2010 pour préserver les ressources énergétiques du pays, ou le *Saudi Energy Efficient Program* (2012) avec un regard particulier sur les bâtiments et leur refroidissement.

Il semble évident qu'une vraie stratégie d'efficacité énergétique sera nécessaire à court et moyen terme, et particulièrement dans le secteur résidentiel. L'IFRI suggère dans son rapport l'application de standards et de certifications énergétiques des bâtiments, des exonérations d'impôts et l'établissement d'une stratégie audacieuse comme des mesures clef de la réduction de la consommation d'énergie, et il met en garde face à la faible rentabilité à court terme des bâtiments performants en énergie : coûts de construction plus importants et surtout les prix faussés de l'énergie domestique à cause des subventions publiques. Le gouvernement a déjà fait savoir que cette issue deviendra prioritaire comme le montre le discours du Prince Abdulaziz bin Salman al-Saud en 2014, aujourd'hui devenu Roi du royaume : *«it is a strategic imperative for the Kingdom that energy efficiency becomes a major topic for all decisions related to an increase in demand for fuel and feedstock»*. De ces mots et du contexte actuel il résulte évident que il existe un gros potentiel économique pour la filière environnementale.

### 1-1-2-5 Consommation de l'eau potable

Même si ceci ne concerne que partiellement notre étude, les approches de refroidissement par des processus adiabatiques font partie des pistes de refroidissement passive de l'habitat. Ainsi, il est intéressant de regarder très rapidement le secteur de l'eau potable. Une accélération de la consommation d'eau sans précédents due à l'augmentation de la population ainsi qu'au changement des habitudes et de mode de vie, oblige l'Arabie Saoudite à faire des efforts colossaux en termes de dépenses énergétiques via des centrales de désalinisation. Aujourd'hui le pays est le plus gros producteur d'eau potable à partir de l'eau de mer : il représente avec ses 30 plantes de désalinisation 18% de la part mondiale du secteur. Ils pensent doubler leur capacité pour les prochains 10 ans. Malgré ces enjeux macro-économiques et ses conséquences dans le bilan énergétique du pays, leur consommation par habitant est le double que la moyenne mondiale et supérieure à celle des pays avec abondance de ressources d'eau potable. La désalinisation d'eau potable représente plus de la moitié de la consommation du fuel destiné aux dépenses domestiques qui à leur tour augmentent de 8% par an. Il semblerait qu'un réseau obsolète avec 50 % de fuites n'aide guère à pallier le problème. Cette ressource est aussi subventionnée, et son coût représente entre 5% à 10% des dépenses du secteur public. A la lumière de ces faits il semble évident que le schéma actuel de consommation d'énergie en Arabie Saoudite ainsi que le reste des pays exportateurs de pétrole du Moyen Orient ne sera pas tenable longtemps, et que ses gouvernements le savent et ils devraient être prêt à investir dans l'efficacité énergétique des bâtiments.

Dans ce contexte le gouvernement saoudien crée en 2010 le SEEC, Saudi Energy Efficient Center et en 2012 un programme, le SEEP, qui visait sur trois ans à augmenter l'efficacité énergétique des équipements pour une réduction des consommations, pics et dépendance énergétique. Les orientations de ce programme s'appuient entre autres sur des concepts de «périodes de temps de retour raisonnables». Dans le volet «bâtiment» les mesures portent sur l'amélioration de la performance des appareils d'air conditionné, et d'autre produits industriels comme des électroménagers et les ampoules de basse consommation. L'isolation thermique est aussi un des paramètres prioritaires dans les bâtiments neufs. Le programme incite aussi à développer davantage les sondages, les test in situ, les inspections et les certifications. Ces mesures ont débouché sur plusieurs campagnes de sensibilisation sur la consommation d'énergie par la climatisation, mais aussi par des programmes de renouvellement des équipements de climatisation. Ces opérations sont très profitables toujours aux industriels de climatiseurs, qui doivent se remettre en question sur leur efficacité mais une fois fait, ils continuent à vendre des grandes quantités d'unités de climatiseurs. Peu de propositions sont faites autour de la conception bioclimatique de l'habitat à la base du processus.

## 1-1-3- Les effets du changement climatique dans la hausse générale des températures

Il est déjà une évidence que le système climatique évolue vers un réchauffement global (IPCC2007). Les

effets les plus fréquemment observés sont associés à la montée des températures moyennes et l'augmentation des températures extrêmes. Ceci est partiellement illustré par la campagne de mise à jour des valeurs des températures à l'échelle internationale que ASHRAE a mis en œuvre entre 1977 et 2006. D'après les analyses de 1274 sites internationaux, la synthèse sommaire (ASHRAE 2009) montre que:

-99,6% des températures moyennes annuelles de l'air sec ont monté de 1,52ºC
-0,04% restant ont augmenté de 0,79ºC
-La température moyenne annuelle du point de rosée a augmenté de 0,55ºC
-Les DJC18ºC ont été réduits de 237 degré-jours

ASHRAE argumente que ces augmentations de températures sont aussi en partie produites par la chaleur (îlot de chaleur) associé à l'urbanisation générée ces dernières années autour des sites où les mesures ont été prises, comme c'est le cas des aéroports. Ainsi, même s'il reste difficile à prédire l'augmentation des températures dans les prochaines années, la prise de conscience des évolutions des températures va devenir incontournable, car le changement climatique a aussi un effet de dérégulation thermique, et les gradients de changement des températures peuvent être très différent entre villes. Afin de voir les évolutions des températures dans des périodes courtes comme les annuelles ou biannuelles, il s'impose la collecte systématique des données des conditions climatiques urbaines récentes. Les concepteurs doivent développer davantage le réflexe de s'y référer. Dans la Figure 1-6, nous montrons à l'aide des valeurs moyennes des degrés-jours de refroidissement à 26ºC, des cinq et deux dernières années, l'évolution des températures dans les villes du Moyen Orient. Nous constatons une hausse de DJR26ºC de 2% entre ces deux moyennes. Ces valeurs viennent appuyer d'avantage les arguments des experts sur le réchauffement et le dérèglement climatique, meme si l'augmentation des moyennes sur 2 et 5 ans analysés ne représentent pas une période suffisante pour une analyse concluante.

VARIATION DE LA TEMPERATURE

| **MOYEN ORIENT** | | MOYENNE 2012-2016 | MOYENNE 2015-2016 | AUGMENTATION |
|---|---|---|---|---|
| **KSA** | | | | |
| | RIYADH | 1583 | 1630 | 3,0% |
| | DJEDDAH | 1506 | 1509 | 0,2% |
| | MEDINAH | 2023 | 2061 | 1,9% |
| | MAKKAH | 2320 | 2324 | 0,2% |
| | NAJRAN | 1164 | 1186 | 1,9% |
| | GIZAN | 1983 | 2017 | 1,7% |
| **KOWAIT** | | | | |
| | KOWAIT CIT | 1940 | 1994 | 2,8% |
| **QATAR** | | | | |
| | DOHA | 1758 | 1815 | 3,2% |
| **BAHRAIN** | | | | |
| | BAHRAIN | 1489 | 1555 | 4,4% |
| **UAE** | | | | |
| | DUBAI | 1735 | 1769 | 2,0% |
| | AL AIN | 1878 | 1919 | 2,2% |
| | ABU DHABI | 1648 | 1698 | 3,0% |

*Figure 1-6 Variations des DJR26ºC entre les moyenne de quatre ans et sa dernière année des quatre ans.*
*Source des données brutes : www.degreedays.net*

*Photo 1-3 - Signature du texte intégrale de la COP21 à Paris. Crédit: inconnu*

## 1-1-4- Les engagements dans le sommet de la COP21 de Paris 2015 et les horizons stratégiques

### 1-1-4-1 La convention cadre des Nations Unies

Les changements climatiques constituent un problème complexe et globale, qui, bien qu'étant de nature environnementale, a des conséquences sur beaucoup d'autres d'issues. En 1992, des pays ont joint un traité international, la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), pour faire face à la hausse des températures provoquée par l'activité humaine. En 1995, des négociations ont débuté pour renforcer la réponse aux changements climatiques et deux ans plus tard, le Protocole de Kyoto fut adopté. En vigueur depuis le 16 février 2005, il contient des mesures plus fortes pour les pays développés considerés responsables historiques des emissions et avec plus de capacité pour faire face aux mesures correctives. La première période de contrainte commença en 2008 et se termina en 2012. Par la suite et dans diverses Conférences des Parties (COP), le traité a été modifié et ratifié à nouveau. La principale caractéristique du Protocole est qu'il disposait d'objectifs obligatoires sur les émissions de gaz à effet de serre pour les pays économiquement forts qui l'ont accepté. Ces objectifs allaient de -8% à +10% par rapport aux émissions individuelles des pays en 1990 en vue de réduire leurs émissions globales d'au moins 5% par rapport aux niveaux de 1990, dans la période d'engagement de 2008 et jusqu'au 2020 avec les amendements des différentes COP.

On compte actuellement 195 Parties à la Convention, dont tous les pays aux climats très chauds. Cependant aucun d'eux n'a ratifié le protocole de Kyoto jusqu'au 2020.

Les dates et moments les plus importants en matière de réduction des émissions sont :
2015-COP21 : Les accords de Paris sont largement ratifiés par les pays aux climats très chauds
2014-COP20 à Lima
2013-COP19 à Varsovie
2012-COP18 L'amendement de Doha au Protocole de Kyoto est adopté
2011-COP17 La Plate-forme de Durban pour une Action Renforcée est rédigée et adoptée.
2010-COP16 Les Accords de Cancun sont rédigés et acceptés largement.
2009-COP15 L'Accord de Copenhague est rédigé à la CP 15, à Copenhague.
2007-COP13, à Bali, les pays établissent la Feuille de Route de Bali.
2005-Entrée en action du Protocole de Kyoto. Première réunion des Parties au Protocole de Kyoto
1997-Le Protocole de Kyoto est formellement adopté en décembre à la CP 3.
1995-COP1 à Berlin : Première Conférence des Parties.

1994-CCNUCC entre en action.
1992-Sommet de la Terre à Rio.
1990-Le Premier rapport du GIEC est publié.
1988-Le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) est créé.
1979-Première Conférence sur le Climat.
(Source: www.ladocumentationfrancaise.fr, visité en Juin 2017)

### 1-1-4-2 LA COP21

A l'occasion de la journée dédiée aux bâtiments de la COP21, l'Alliance mondiale pour les Bâtiments et la Construction (Global Alliance for Buildings and Construction) a été lancé avec le soutien du Programme des Nations Unies pour l'Environnement. Elle a reçu l'adhésion de 20 États (représentant plus d'1,2 milliards d'habitants) et a fait l'objet d'une déclaration commune signée par plus de 70 personnalités représentant la filière (Photo 1-3). Outre son implication dès l'origine dans cette Alliance, la France soutient quatre actions spécifiques, dont une consiste en une initiative sur l'architecture tropicale ayant pour but de produire un cadre méthodologique sur la conception bioclimatique et le confort thermique dans des climats chauds ou très chauds et secs ou humides. S'intéresser à ce type de climat est, certes utile aux zones mondiales à fortes constructions actuelles des pays en développement (PED), souvent situés en zones chaudes. La France trouve aussi un intérêt dans l'anticipation aux changements climatiques projetés par le GIEC en certaines régions françaises et européennes où le climat chaud voir très chaud peut devenir une vraie réalité. Le texte fixe pour objectif de limiter le réchauffement climatique à moins de 2°C, en visant la barre des 1,5°C. L'accord, qui doit être validé par les parlements des pays participants et entrera en vigueur en 2020, prévoit une augmentation du budget du fonds vert pour le climat. L'un des objectifs du texte est la réorientation de l'économie mondiale vers un modèle à bas carbone, ce qui implique un abandon progressif des énergies fossiles. En réponse à cet accord, la Fondation Nicolas Hulot ainsi que l'association NegaWatt, regrettaient que la sobriété énergétique ne fasse l'objet d'aucune mention dans le cadre de l'accord de Paris. Les textes de l'accord contiennent 29 articles dont les plus significatifs sont :

Article 2 :1. *« Le présent Accord, en contribuant à la mise en œuvre de la Convention, notamment de son objectif, vise à renforcer la riposte mondiale à la menace des changements climatiques, dans le contexte du développement durable et de la lutte contre la pauvreté, notamment en :*

*a) […]*

*b) Renforçant les capacités d'adaptation aux effets néfastes des changements climatiques et en promouvant la résilience à ces changements et un développement à faible émission de gaz à effet de serre, d'une manière qui ne menace pas la production alimentaire;*

*c) Rendant les flux financiers compatibles avec un profil d'évolution vers un développement à faible émission de gaz à effet de serre et résilient aux changements climatiques.[…] »*

Article 4 : *« En vue d'atteindre l'objectif de température à long terme énoncé à l'article 2, les Parties cherchent à parvenir au plafonnement mondial des émissions de gaz à effet de serre dans les meilleurs délais, étant entendu que le plafonnement prendra davantage de temps pour les pays en développement parties, et à opérer des réductions rapidement par la suite conformément aux meilleures données scientifiques disponibles de façon à parvenir à un équilibre entre les émissions anthropiques par les sources et les absorptions anthropiques par les puits de gaz à effet de serre au cours de la deuxième moitié du siècle, sur la base de l'équité, et dans le contexte du développement durable et de la lutte contre la pauvreté. »*

Le texte intégrale de la COP21 fut signé par une grosse partie des pays aux climats très chauds de la peninsule Arabique comme le Qatar, UAE, Bahreïn, et Oman à l'exception de l'Arabie Saoudite et le Yémen. Ce refus de signature de l'Arabie Saoudite, qui assistât comme membre historique de la CCNUCC à la COP21, fut accompagné d'une contribution déposée le 10 novembre 2015, prévoyant d'éviter l'émission de 130 millions de tonnes équivalent CO2 d'ici à 2030, mais sans indiquer toutefois par rapport à quel niveau de production et en précisant qu'elle comptera toujours sur "une solide contribution des revenus de l'exportation de pétrole à l'économie nationale". Les divers refus de ratification des textes mettent en évidence la contradiction des pays exportateurs de pétrole où la vente de cru est leur revenu principal et en même temps le principal responsable du réchauffement climatique. Encore une fois la réduction des consommations énergétiques dans le bâtiment via l'amélioration de la conception des projets, est une voie claire et compatible avec les intérêts géopolitiques de ces pays.

## 1-1-5- Les innovations des derniers années en climat froid et chaud

Nous nous intéressons à l'état de l'innovation de la construction de basse consommation en climat froid, les axes d'innovation principales et à sa temporalité. L'objectif étant de faire un parallèle entre ce qui s'est passée pendant les dernières décennies en Europe et ce qui pourrait se passer en climat chaud avec l'amélioration des accès à la technologie du bâtiment, une augmentation des moyens de construction, une prise de conscience et un savoir faire accessible à tous en augmentation autour les notions de basse consommation. Nous avons analysé les innovations les plus utilisées dans les compétitions du Solar Decathlon Europe (SDE) 2012 à Madrid, ce qui nous montre les pistes de dernière génération qu'utilisent les équipes pour un habitat de basse consommation dans un climat qui peut être froid en hiver et chaud en été. La Figure 1-10 montre un tableau extrait de l'étude fait par des chercheurs participant à la compétition (Rodriquez-Ubinasa, E.).

### 1-1-5-1 Les matériaux à changement de phase - Phase change materials (PCM)

Les PCM furent utilisés dans des prototypes de maisons au Solar Decathlon de l'équipe canadienne en 2005, allemand en 2007 et l'espagnol en 2010, comme un élément constructif capable d'ajouter une grande inertie thermique grâce à une masse constructive faible de PCM. Les résultats montrent un déphasage de l'arrivée de l'onde de chaleur ainsi qu'une grande capacité à stocker de la chaleur ou de la fraîcheur en fonction des besoins. Ce type de démarche est intéressante pour des constructions légères et très peu compactes, avec un ratio façade/volume habité très élevé. Le système se prête aussi bien à être utilisé en climat chaud que froid (FIgure 1-7) si les températures extérieures arrivent à un moment donné à rentrer dans le fuseau de confort. Pendant la compétition du SDE 2012, 87% des équipes utilisaient deux systèmes de stockage thermique, par chaleur sensible ( dans la masse des structures) et latente ( dans la masse des PCM)

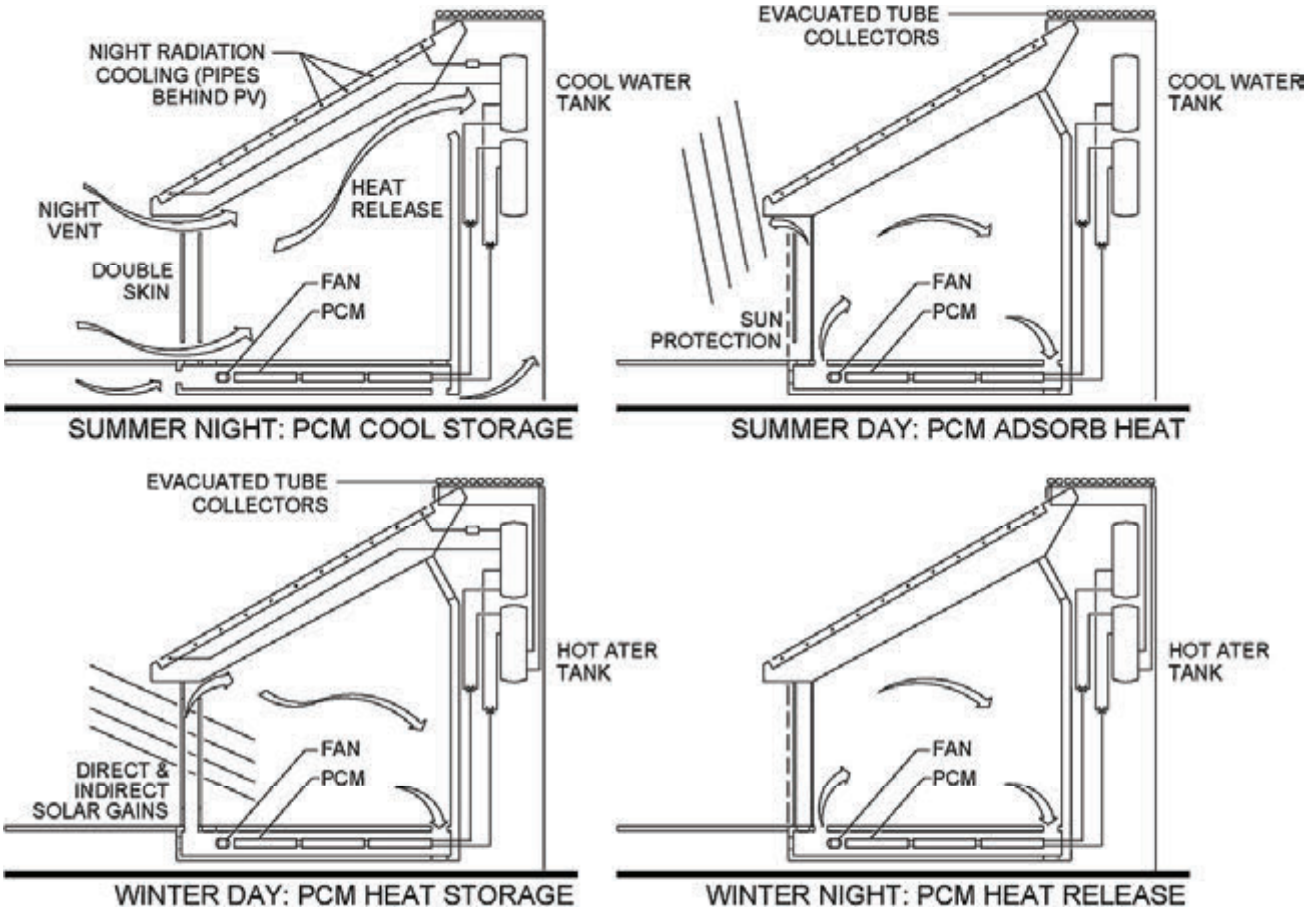



*Figure1-7 Stratégies possibles de réduction de la consommation énergétique avec des PCM. Crédit: Rodriquez-Ubinasa, E.*

### 1-1-5-2 Les ratios pour vérification rapide

L'utilisation des ratios (Figure 1-8) pour l'optimisation des bâtiments permet une vérification facile des proportions des volumes, façades et ouvertures, sans rentrer dans les détails architecturaux, ainsi le comité européen de normalisation a défini plusieurs ratios très utiles à une vérification rapide : L'«index de compacité» qui est le rapport entre la surface des façades thermiques extérieures et le volume habitable (m2 / m3), aussi le «facteur de forme» qui est le rapport entre la surface des façades thermiques extérieures et la surface intérieure habitable (m2 façade/ m2 plancher).

### 1-1-5-3 La super isolation des parois extérieures

Développer davantage le niveau d'isolation de l'enveloppe des maisons est une stratégie qui continue à se développer malgré les différentes normes qui sont toujours, même aujourd'hui en Europe, relativement permissives avec la performance de l'enveloppe. Dans le cas de cette compétition, Figure 1-9, et sans contrainte de temps de retour sur investissement il est évident que les épaisseurs étaient largement au-delà des pratiques habituelles marquées par la réglementation thermique de Madrid en 2012 qui permettait une conductivité

Analysis ratios values of the houses that obtained the highest scores in the temperature sub-contest during the Passive Monitoring Period

| Ratio | Definition | H16 | H01 | H07 | H11 | H15 | H12 | H13 | Average |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Aspect ratio | w/l | 1.00 | 1.05 | 1.58 | 1.48 | 2.23 | 1.62 | 0.87 | 1.40 |
| Compactness ratio | Ae/Vc | 0.93 | 0.85 | 1.63 | 1.34 | 1.19 | 1.32 | 0.80 | 1.15 |
| Building Shape Factor | Ae/Ac | 3,06 | 2,92 | 4,18 | 3,04 | 3,09 | 3,44 | 4,27 | 3,43 |
| Envelope transparent surface ratio | At/Ae | 0,13 | 0,16 | 0,30 | 0,27 | 0,11 | 0,22 | 0,25 | 0,20 |
| Envelope transparent to Floor ratio | At/Ac | 0,36 | 0,43 | 1,07 | 0,96 | 0,31 | 0,74 | 0,68 | 0,65 |
| Envelope transparent to Wall ratio | At/Aw | 0,27 | 0,33 | 0,71 | 0,63 | 0,20 | 0,44 | 0,62 | 0,46 |
| Envelope transparent to Building Volume | At/Vc | 0,12 | 0,13 | 0,49 | 0,37 | 0,13 | 0,28 | 0,20 | 0,25 |
| South Glazing to South Wall ratio | Ast/Asw | 0,60 | 0,68 | 0,59 | 0,85 | 0,11 | 0,58 | 0,29 | 0,53 |
| South Glazing to Floor ratio | Ast/Ac | 0,19 | 0,25 | 0,28 | 0,32 | 0,07 | 0,40 | 0,25 | 0,25 |
| South Glazing to Building Volume | Ast/Vc | 0,07 | 0,08 | 0,13 | 0,12 | 0,03 | 0,16 | 0,07 | 0,09 |
| South Glazing to Envelope transparent area | Ast/At | 0,53 | 0,58 | 0,26 | 0,33 | 0,23 | 0,55 | 0,36 | 0,41 |

*Figure1-8 Ratios constructifs des prototypes du Solar Decathlon Europe 2012 à Madrid.*
*Crédit: Source: SDME/Rodriquez-Ubinasa*

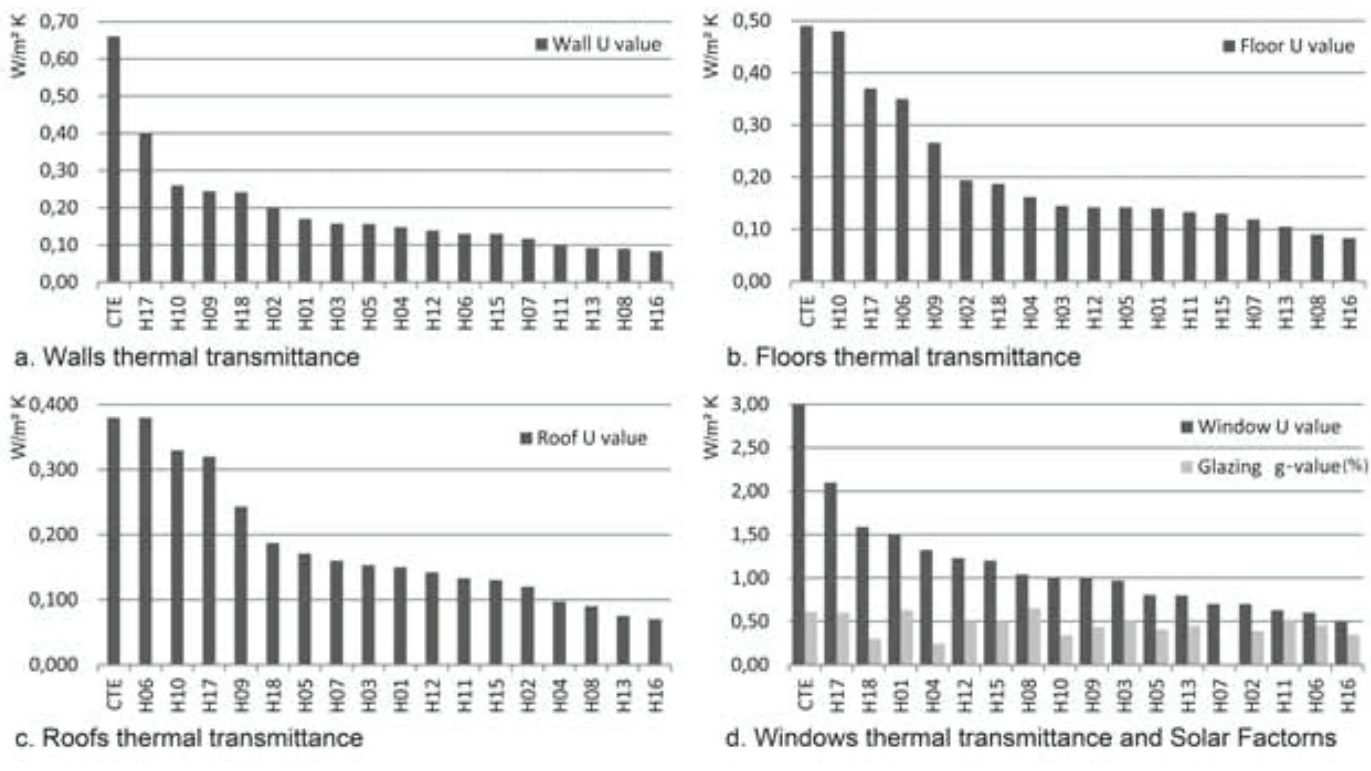



*Figure1-9 Performances des parois Umur W/m2K des prototypes du Solar Decathlon Europe 2012 à Madrid.*
*Source: SDME/Rodriquez-Ubinasa*

thermique maximale de 0,6 W/m²K.

### 1-1-5-4 Le rafraîchissement par évaporation adiabatique et radiation

Ceci fut un point clef dans les prototypes du SDE à Madrid où 67% des participants utilisaient cette action architecturale. Le refroidissement céleste pendant la nuit des ciels dégagés de Madrid fut utilisé par 17% des participants. En complément à cette mesure, la chaleur ou la fraîcheur fut distribuée à l'intérieur par des moyens de radiation à basse température. 60% des équipes utilisait cette mesure. Ces systèmes furent placées soit au plafond, soit au sol, soit aux deux.

### 1-1-5-5 Les systèmes de traitement de l'air intérieur

L'usage des VMC en double flux thermique fut utilisé par 87% des équipes. Ils utilisaient des systèmes commerciaux et des systèmes customisés pour la récupération thermique.

### 1-1-5-6 SAS d'entrée

Seulement 18% des équipes a mis en place un système de SAS pour pallier les pertes thermiques dues aux entrées et sorties des visiteurs.

### 1-1-5-7 Les consommations des prototypes comme échantillons des maisons exemplaires

En climat continentale, dont Madrid se situe, la consommation annuelle par maison individuelle est de 19653 kWh (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE 2016) pour des maisons d'une taille moyenne de 143m2 ( Laboratorio de Datos AFI-El Pais-mars 2016), ce qui donne une consommation moyenne très aproximative de 137kWh/m2an. Dans des conditions de température relativement agréables, et des conditions d'humidité relative aussi acceptables pendant le SDE 2010, la consommation annuelle estimée moyenne des prototypes fut de 5328 kWh et équipe par équipe, de la première place à la dernière, leurs performances furent les suivantes :

nº1 - Canopea
surface habitable : 68m2-Conso. annuelle : 7023kWh-Conso ratio surface:103 kWh/m2an
nº2 - Patio 2.12
surface habitable : 70m2-Conso. annuelle : 2982kWh-Conso ratio surface:42 kWh/m2an
nº3 - Ecolar
surface habitable : 68m2-Conso. annuelle : 5480kWh-Conso ratio surface:81 kWh/m2an
nº4 - Coûter
surface habitable : 62m2-Conso. annuelle : 6365kWh-Conso ratio surface:102 kWh/m2an

### 1-1-5-8 L'importance re-donnée à l'étanchéité à l'air

Les infiltrations d'air ont toujours existé dans les bâtiments. Il ne s'agit pas d'un phénomène nouveau mais d'un phénomène qui est devenu incompatible avec les exigences de performance et de confort actuelles. La même cause observée il y a quelques années ne produit plus, les mêmes effets aujourd'hui. Même si jadis les infiltrations contribuaient au renouvellement d'air dans les bâtiments, la RT 2012 a considérablement renforcé la nécessité de rendre étanches à l'air les bâtiments et impose un test d'étanchéité à l'air au moment de la réception. Contrairement à une idée généralement répandue, les infiltrations d'air ne se font pas seulement par les parois extérieures : une part importante s'effectue par l'intérieur du bâtiment (fourreaux, etc..). En moyenne, on estime que chaque volume/h supplémentaire au test à la porte soufflante conduit à une augmentation des consommations de 4 kWh/m2 Shab/an. Plus l'excellence énergétique est visée, plus le bâtiment devient sensible à un déficit d'étanchéité à l'air. S'il est tolérable d'accepter un taux de fuite de 2,3 vol/h n50 comme l'exige la RT 2012 (réglementation thermique en vigueur en France) pour une maison individuelle, cela n'est plus possible pour une maison passive de très basse consommation. Entre des perméabilités de 2,3 vol/h et 0,6 vol/h n50 ils se produit une perte d'environ 9 kWh/m2/an dans une maison en climat froid tempéré (PHPP Passivhaus), un tel écart peut encore être absorbé dans des valeurs de consommation de 50 kWh/m2 /an, mais il devient hors de proportion lorsque les besoins visés sont inférieures à 15 kWh/m2 /an.

### 1-1-5-9 Cool roofs

Il s'agit d'une tendance récente inspirée de l'architecture vernaculaire de climat chaud. Le principe est tout simple, revêtir les surfaces exposées au soleil d'une peinture avec une basse absorbance du spectre infrarouge du rayonnement solaire, celui de courte longueur d'onde (CLO). Cette simple mesure devient très effective dans les habitats faiblement isolés car il réduisent drastiquement l'absorption de l'énergie du soleil par les murs. Ces peintures ont une haute émissivité au rayonnement infrarouge de grande longueur d'onde (GLO),

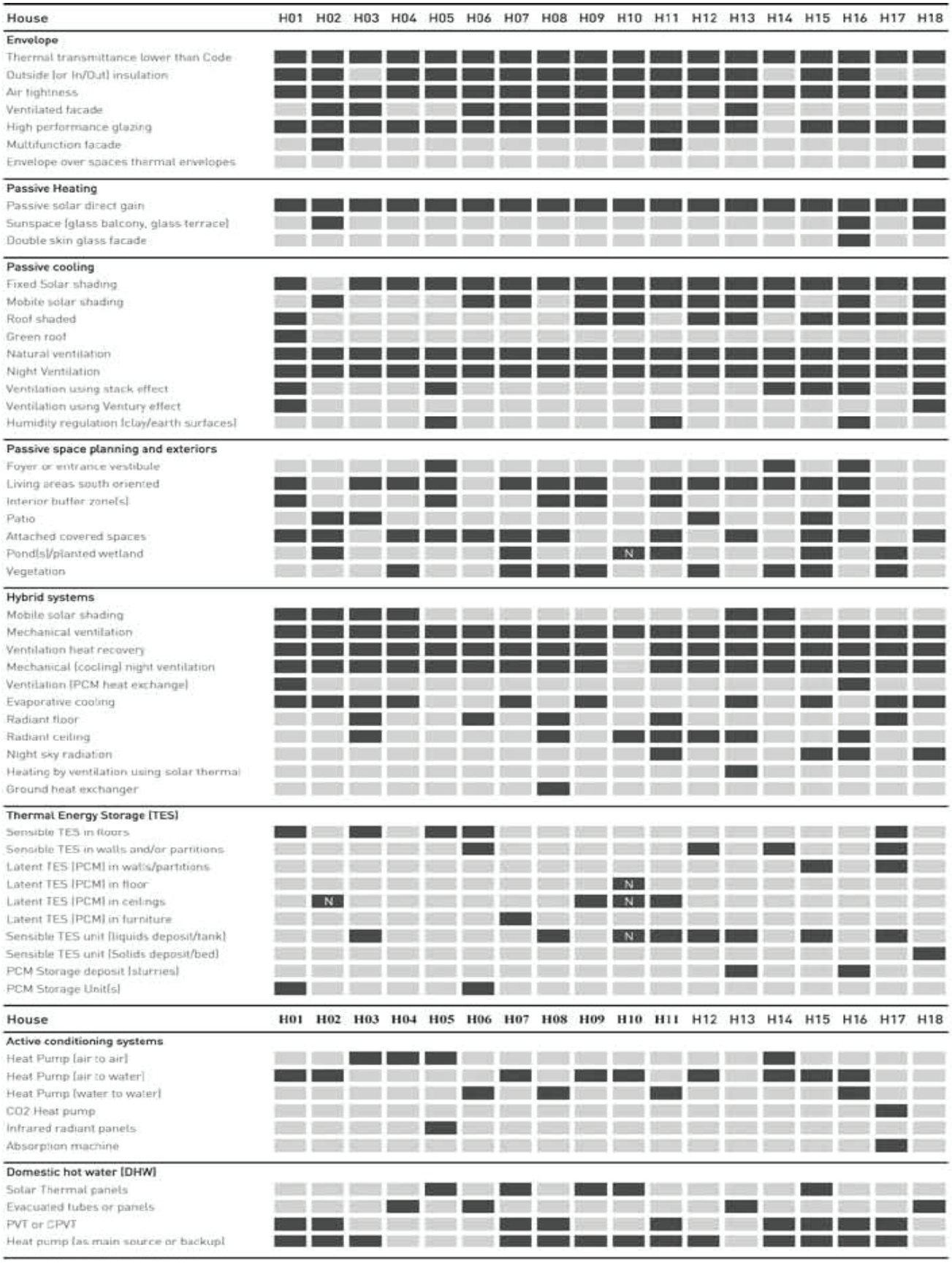



*Figure 1-10 Stratégies bioclimatiques utilisées par les prototypes du Solar Decathlon Europe 2012 à Madrid.*
*Source: SDME/Rodriquez-Ubinasa*

ce qui permet aux murs de se décharger thermiquement par rayonnement vers l'extérieur pendant la nuit. L'université de Melbourne, a rendu public le «Cool Roofs: City of Melbourne Research Report», démontrant que la température dans un attique peut être réduite de 18ºC et que l'utilisation généralisée de cette technique pourrait réduire la consommation de la ville en refroidissement de 3%.

## 1-1-6- L'état des lieux des valeurs de consommation énergétique : le cas saoudien

### 1-1-6-1 Expérimentation avec des factures et une simulation E+

Dans l'article «Domestic energy consumption patterns in a hot and ARID climate: A multiple-case study analyses in Riyad and Jeddah in 2013 » sur l'étude réalisée par Naief A. Aldossary, Yacine Rezgui et Alan Kwan de la Cardiff School of Engineering, il est montré l'état de lieux des consommations énergétiques dans les logements, maisons individuelles et appartements avec un approche très pragmatique : via la lecture des factures d'électricité. Leur méthode d'analyse aborde les typologies typiques des maisons et appartements construites récemment dans la ville de Riyad et Jeddah, et permet d'aborder le type d'habitat le plus répandu dans les villes saoudiennes. A Riyad, 41 % des surfaces résidentielles urbaines sont occupées par des zones de bâtiments collectifs à haute densité et 59 % sont des zones pavillonnaires.

Avant de faire les simulations une étude sociologique des habitants et de leur comportement par maison fut réalisée afin de définir leurs habitudes vis-à-vis de l'usage énergétique. En parallèle un modèle 3D fut fait en se basant sur des plans officiels disponibles, des témoignages et certaines recherches sur les matériaux décrits. Il n'est pas impossible qu'il puisse exister un écart entre les plans de construction et l'ouvrage réellement

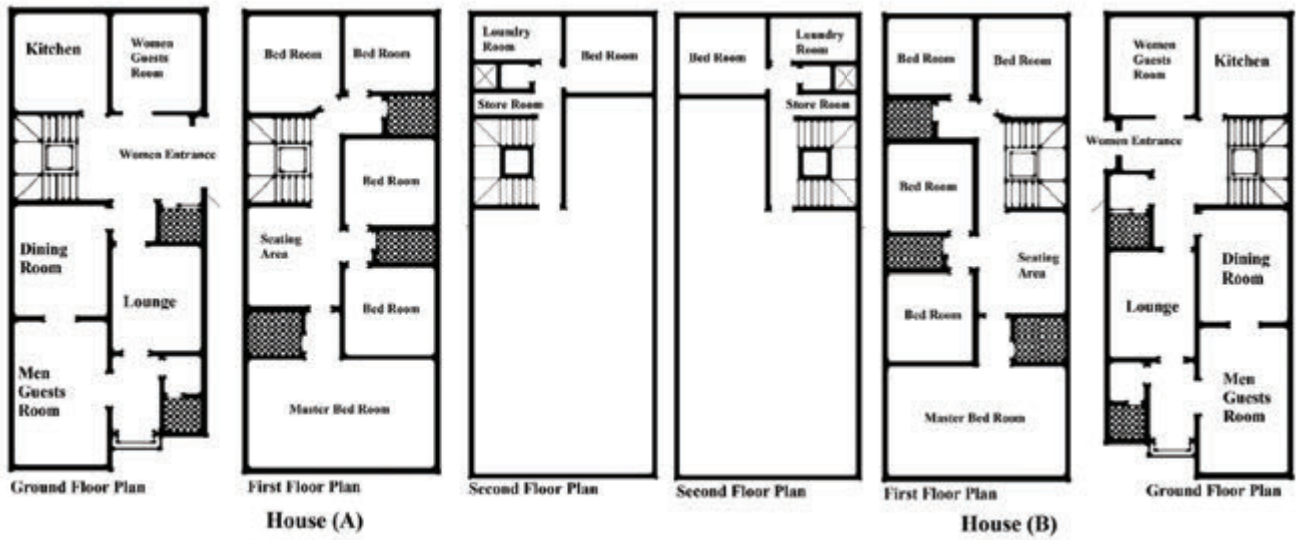



*Figure1-11 Plans des maisons A et B utilisés pour l'étude.*
*Crédit et Source: Aldossary 2013*

*Figure1-12 Plans de la maison C utilisés pour l'étude.*
*Crédit et Source: Aldossary 2013*

construit. Le logiciel de calcul thermique-dynamique «IES-VE» avec un moteur de calcul «Energy +», est utilisé pour faire la simulation des consommations énergétiques. Ce modèle fut calibré plus tard par les factures d'électricité annuelles. Les plans des maisons étudiées, sont montrées dans la Figure 1-11 et 1-12. L'étude est faite aussi sur des appartements avec la même procédure, même si dans le cas de notre étude nous allons nous limiter aux maisons.

**1- Description des maisons utilisées pour le projet**

Une maison récente de 3 à 5 ans pour une famille saoudienne de 6 personnes à un étage est constituée d'un RdC contenant le séjour-salle à manger, la cuisine et les chambres des invités (vides la plupart du temps) et d'un R+1 qui est le noyau privé de la famille : chambres et séjour-salle à manger, et d'un R+2 avec la chambre du linge et cuisine qui est dédié partiellement aux gardiens et aux bonnes. Des chambres pour une partie de la famille sont aussi disponibles lorsque des membres de la famille viennent rendre visite. Ci-dessous les principales caractéristiques de ces trois maisons :

Les surfaces :
Surface totale Maison A : 338 m2 pour 7 adultes et 2 enfants
Surface totale Maison B : 338 m2 pour 2 adultes et 3 enfants
Surface totale Maison C : 772 m2 pour 5 adultes et 2 enfants

Concernant l'enveloppe et les ouvertures :
Aucune protection solaire particulière n'est présente, ni à l'extérieur ni à l'intérieur.

Les maisons A et B étudiées avaient la composition de l'enveloppe suivante :
Murs extérieurs : enduit-brique-enduit / ep. total : 24 cm U=2.7W/m2K
Toiture: carrelage-chape-sable-isolation-dalle béton armé / ep. total : 43 cm U=2.1W/m2K
Plancher bas RdC : carrelage-chape-sable-dalle BA-isolation / ep. total : 50 cm U=1.9W/m2K
Fenêtres : Simple vitrage U=5.6W/m2K
Portes d'entrée : standard U=2.1W/m2K
Cloisons intérieurs : enduit-brique-enduit / ep. total : 24 cm U=3.38W/m2K

La maison C avait la composition de l'enveloppe suivante :
Murs extérieurs 01 : pierre-enduit-brique-enduit / ep. total : 24 cm U=1.7W/m2K
Murs extérieurs 02: enduit-brique-enduit / ep. total : 24 cm U=2.7W/m2K
Toiture : carrelage-chape-sable-isolation-dalle béton armé / ep. total : 43 cm U=2.8W/m2K
Plancher bas RdC : carrelage-chape-sable-dalle BA-isolation / ep. total:50 cm U=1.9W/m2K
Fenêtres : Simple vitrage U=5.6W/m2K
Portes d'entrée : standard U=2.1W/m2K
Cloisons Intérieurs : enduit-brique-enduit / ep. total : 24 cm U=3.38W/m2K

**2- Consommations réelles des maisons vs. résultats des simulations**

Selon les factures de l'électricité et simulations annuelles les maisons consomment, (Figure 1-13) :
Maison A : 62 784kWh (réels) / 55 967kWh (simulation) / 185kWh/m2an (réels)
Maison B : 33 186kWh (réels) / 31 381kWh (simulation) / 98kWh/m2an (réels)
Maison C : 84 356kWh (réels) / 85 230kWh (simulation) / 109kWh/m2an (réels)

**3- Évolution des consommations mensuelles**

Avec les factures par mois et avec les simulations par mois ils obtiennent les consommations mensuelles qui montrent aussi des particularités liées à l'usage de la maison comme les absences pour les vacances d'été durant les mois les plus chauds (Figure 1-14).

### 1-1-6-1 Interprétation des résultats

Les consommations ne doivent pas être considérées comme annuelles car il y a eu des périodes avec les maisons inoccupées et cela pendant les périodes les plus chauds de l'année. Nous devons faire aussi attention au fait qu'une grande partie de ces maisons ont des invités de façon intermittente. Ainsi, ces espaces, souvent fermés et non climatisés, ne représentent pas des consommations surfaciques supplémentaires, cela implique que les vraies surfaces de référence énergétique sont moindres et correspondent aux surfaces réellement habitées lors d'un usage quotidien, et donc les consommations surfaciques devraient être supérieures à celles annoncées.

Les résultats de la lecture des factures énergétiques et des simulations thermiques montrent l'importance de la consommation énergétique produite par la climatisation à l'intérieur d'une maison qui représente en

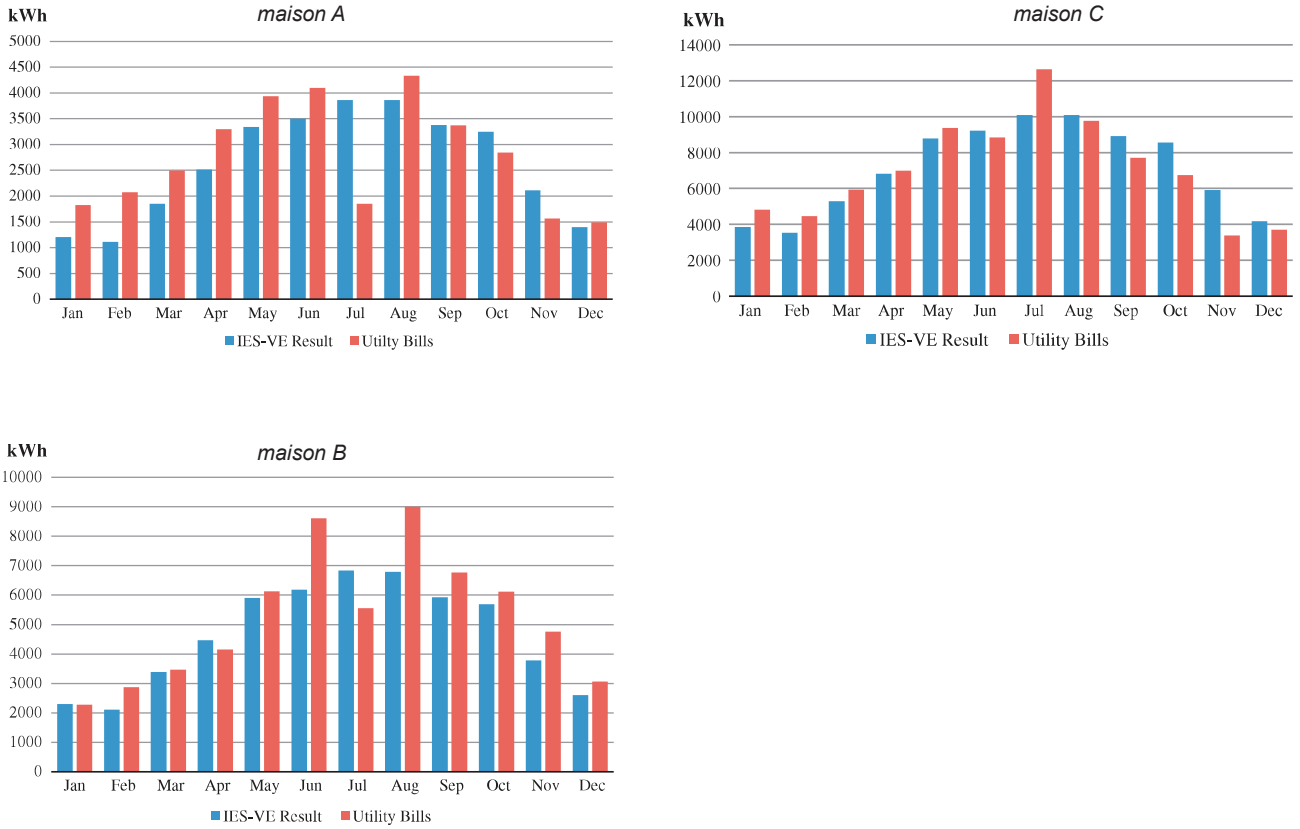



*Figure 1-13 Consommations mensuelles estimées et réelles des maisons A, B et C.*
*Crédit et Source: Aldossary 2013*

moyenne plus de 85% de la consommation annuelle électrique, et donc la lutte contre le réchauffement de la maison devient la priorité en termes de basse consommation.

La consommation annuelle des maisons arabiques représente une moyenne de 130 kWh/m2an avec une surface moyenne de plancher chauffé de 497 m2. Cette étude fut aussi faite sur des appartements à Jeddah, et la consommation annuelle moyenne des appartements est de 162 kWh/m2an avec une surface moyenne de plancher chauffé de 80 m2 environ pour 5 personnes. Pour la maison la plus grande, la consommation du mois de juillet fut de 11000 kWh alors que dans la moyenne du mois de janvier, février, et mars elle fut de 4000 kWh.

La consommation en énergie primaire d'une maison de nouvelle construction en France est selon la RT 2012 de 50 kWh/m2an, ce qui semble très loin des chiffres annoncés pour le parc immobilier de Jeddah, par contre si nous regardons le parc existant de basse qualité en France on arrive à trouver des consommations de 318 kW/m2an (source : étude sur opération HLM en Lorraine), et même si ce chiffre n'est pas comparable, elle montre néanmoins le progrès qui a été fait au regard de l'efficacité énergétique des maisons.

Contre les 497 m2 de surface moyenne des maisons représentatives saoudiennes, les surfaces des maisons européennes sont très inférieures (Figure 1-15). Les foyers européens ont une moyenne de 4 personnes et une surface moyenne habitable de 108,3 m² en 2002 (Source : enquête Logement 2002, Insee).

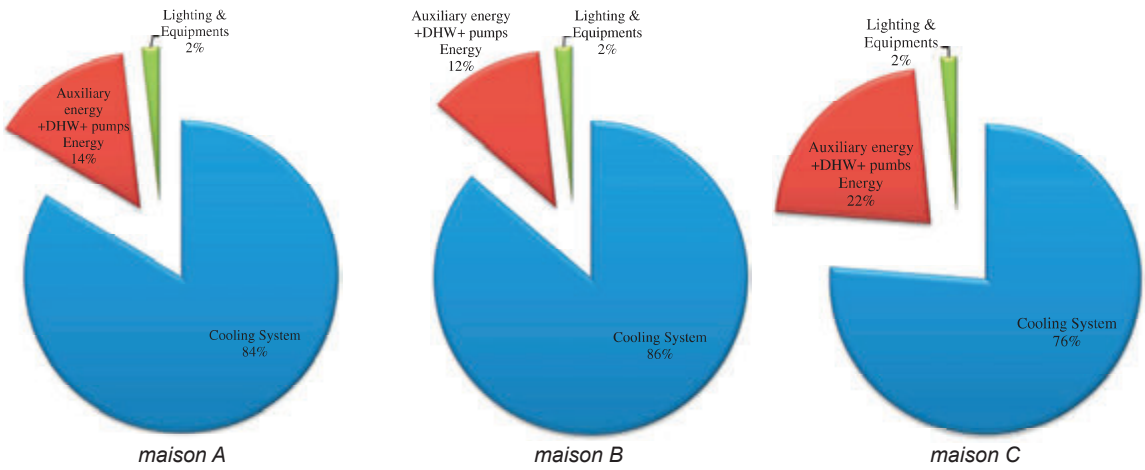



*Figure 1-14 Répartition des usages de l'énergie totale des maisons A, B et C.*
*Crédit et Source: Aldossary 2013*

Cet écart des surfaces entre l'habitat du Moyen Orient et l'Europe pose la question de la validité de l'unité de consommation d'énergie. L'unité la plus répandue est le kW/m2, c'est une unité surfacique qui mesure la performance de chaque mètre carré de la maison indépendamment de la surface totale de la maison. Ainsi, une maison pourrait avoir une basse consommation surfacique juste par le fait de ses nombreux mètres carrés, ce qui est paradoxal alors que ce que nous voulons réduire est la consommation globale. Ce phénomène implique qu'une maison très performante avec une faible surface de plancher serait plus énergivore en kWh/m2 que une maison de grande taille avec une performance médiocre, et ceci risque d'être le cas souvent dans la suite de notre étude. Peut être qu'une unité de consommation par personnes par jour ou par an serait plus pertinente sur certains aspects de l'approche énergétique, même si encore une telle approche serait très pénalisante pour les personnes vivant seules dans une maison, ou des couples dont les enfants sont déjà partis habiter ailleurs. Nous n'irons pas plus loin sur cette réflexion, mais il faut être conscient que nous ne pouvons pas comparer avec les mêmes critères les kWh/m2an des cultures aussi différentes. Nonobstant, compte tenu que notre étude vise à améliorer la performance des maisons, indépendamment du nombre d'habitants, l'unité de kW/m2/an est, à notre avis, valable et représentative de la performance énergétique.

| | | conso totale kWh/an | surface m² | nº habitants hab. | surf par habi m²/hab | Conso / m2t kWhm2/an | conso habita kWh/an/hab. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Djeddah | maison A | 62784 | 338 | 9 | 38 | 186 | 6976 |
| | maison B | 33186 | 338 | 5 | 68 | 98 | 6637 |
| | maison C | 84356 | 772 | 7 | 110 | 109 | 12051 |
| | **AVERAGE maisonJd** | **60109** | **483** | **7** | **72** | **131** | **8555** |
| | appart A | 24375 | 210 | 7 | 30 | 116 | 3482 |
| | appart B | 27644 | 210 | 5 | 42 | 132 | 5529 |
| | appart C | 36615 | 222 | 9 | 25 | 165 | 4068 |
| | **AVERAGE appartJd** | **29545** | **214** | **7** | **32** | **138** | **4360** |
| Ryadh | maison A | 87375 | 699 | 9 | 78 | 125 | 9708 |
| | maison B | 66880 | 418 | 7 | 60 | 160 | 9554 |
| | maison C | 41800 | 418 | 6 | 70 | 100 | 6967 |
| | **AVERAGE maisonRY** | **65352** | **512** | **7** | **69** | **128** | **8743** |
| | appart A | 15785 | 77 | 5 | 15 | 205 | 3157 |
| | appart B | 11200 | 64 | 4 | 16 | 175 | 2800 |
| | appart C | 16920 | 94 | 6 | 16 | 180 | 2820 |
| | **AVERAGE appartRY** | **14635** | **78** | **5** | **16** | **187** | **2926** |
| France | maison moyenne | 10800 | 108 | 4 | 27 | 100 | 2700 |
| | appart moyen | 5440 | 68 | 3 | 23 | 80 | 1813 |

*Figure 1-15 Comparaison des valeurs de consommation énergétique par surface et par nombre d'habitants.*
*Source : enquête Logement , Insee, 2002 et Aldossary 2013*

# 1-2- Habiter la maison en climat chaud

## 1-2-1- La culture dans la manière d'habiter une maison

Nul ne doute que la culture d'un peuple façonne la manière d'habiter une maison. La question qui nous intéresse est alors quelles sont les compatibilités entre les habitudes d'un peuple de climat très chaud provenant d'une région donnée, la péninsule arabique dans notre cas, et les modifications dans la conception d'une maison vers une maison de haute performance énergétique. La culture dominante dans la péninsule arabique est celle des bédouins, très conservateurs dans leurs traditions aux coutumes fortement ancrées, ayant comme valeur fondamentale leur croyance dans la religion musulmane. De par leur contexte géographique et climatique, l'accueil généreux du visiteur était historiquement un des piliers de leurs habitudes quotidiennes. La famille aussi représente un des piliers de leur culture, elle devient l'objet de fierté et d'attention des parents qui veillent à la placer au centre de leur quotidien.

La famille arabe peut être décrite comme l'unité basique de production et le centre de l'organisation sociale arabe ainsi que des activités socio-économiques. Tous les membres de la famille travaillent ensemble pour améliorer son statut social et économique, perpétuant ainsi son existence. Avant que les états rentiers des pays du Golfe ne commencent à fournir des services sociaux minimales, c'était les familles qui assuraient les services d'éducation, socialisation, défense, niveau de vie, travail et religion. De nos jours ceci est surtout encore d'actualité dans les couches les plus populaires des environnement ruraux et péri-urbains. La famille est aussi l'institution qui transmet la classe sociale, la religion et la culture, ainsi le succès ou l'échec d'un membre de la famille est vue comme un succès ou échec de la famille dans son ensemble. Tout membre est tenu responsable des comportements des autres membres. Le comportement trop libéral des enfants et notamment des filles montre du doigt non seulement la personne mais aussi ses parents, frères et sœurs, qui aux yeux des autres, n'ont pas su bien enseigner les valeurs familiales. « Le crime d'honneur », un triste événement qui arrive encore dans des sociétés très ancrées et soudées dans leurs valeurs, témoigne de l'importance que ces sociétés donnent au respect des valeurs familiales. La culture arabe est alors très attentive des habitudes sociales des hommes et des femmes, et particulièrement à des possibles dérives sexuelles, les femmes doivent limiter au maximum les échanges avec des hommes étrangers a leur famille. Elles ont rarement l'habitude d'avoir le moindre contact physique, comme faire la bise ou serrer la main. Nos séjours en Arabie Saoudite et Palestine j'ai rencontré des femmes remarquablement intelligentes et cultivées qui même après plusieurs jours de partage de d'activités scientifiques et sociales, refusaient de nous serrer la main en guise d'au revoir.

Le climat est à l'origine de l'évolution culturelle des peuples, et ses caractéristiques physiques, température maximale, moyenne, minimale, humidité, vitesse du vent, entre autres ont une forte influence dans la façon qu'ont les gens d'habiter. Si c'est vrai qu'aujourd'hui les moyens de climatisation active permettent de s'affranchir partiellement de la chaleur et des hautes températures, il est aussi vrai qu'à chaque moment que nous passons dehors, il nous est rappelé l'impact de l'environnement extérieur. Ainsi dans les climats très chauds et malgré les moyens artificiels pour les contrôler, le quotidien est rythmé par les paramètres climatiques. Les citoyens des pays chauds ont ainsi intégré dans leur mode de fonctionnement les caractéristiques comme l'utilisation massive de la voiture : presque la totalité des voitures ont la climatisation intégrée, et donc les déplacements entre deux lieux climatisés se fait avec la voiture qui permet de réduire au maximum le contact avec l'extérieur. Une fois garées à l'extérieur, les voitures sont tout de même soumises au rayonnements et à la surchauffe. La création de parkings en pied des immeubles ou sous terre est très répandue dans la plupart des institutions publiques. Une autre mesure est le fait de profiter des heures les plus fraîches de la journée : Les journées commencent tôt dans ces pays, vers 7h et elles finissent tard, aux heures de basse intensité du soleil, le matin et le soir, qui sont les plus actives parmi la population. Les centres commerciaux sont ouverts jusqu'au 23h et les villes bruissent de vie le soir.

Le contact visuel des femmes envers les hommes est aussi limité. A l'extérieur du cercle familial et en fonction de leur affiliations religieuses elles doivent s'habiller utilisant un voile «protecteur» qui dans les versions les plus légères prend la forme du Hijab, couvrant les cheveux et le cou, et dans les cas les plus extrêmes elles doivent utiliser une Burqa, qui couvre la totalité du corps et le visage, cette dernière utilisant un voile ajouré sur les yeux pour y voir. Dans les habitudes ancestrales, mais dont l'essence reste encore aujourd'hui, les femmes limitent leur déplacements aux courses journalières, et à rendre visite aux membres de leur famille, souvent sœurs et mère, et vice-versa, d'autres membres de la famille leur rendent visite dans leur maison. A l'intérieur de la maison lorsque elles sont parmi des proches de la famille, elles peuvent se montrer, mais dès que un visiteur ou un invité entre, elles doivent être à nouveau couvertes, voir disparaître dans les pièces plus intimes, loin du regard des visiteurs. Pour cette habitude des « visites à domicile », la salle de visiteurs est importante, et dans la plus part des cas où la famille peut se le permettre, leur maison possède deux salons de visite, un pour les femmes et un autre pour les hommes. Cependant de nos jours les familles de classe moyenne des grandes villes commencent à pratiquer des habitudes moins strictes à cet égard, et la présence des hommes et des femmes dans une même pièce ne pose pas de problème, même si le contact physique reste très restreint.

## 1-2-2- La journée représentative d'une famille au Proche et Moyen Orient

Nous avons réalisé des entretiens auprès des habitants de deux villes : Jeddah et Alger.

A. Af., enseignant au King Abdulaziz University et doctorant au GRECCAU
Journée type dans sa ville natal de Jeddah pour une famille de classe moyenne avec enfants :
05:37(été)-7:03(hiver) Au lever du soleil les adultes se lèvent pour faire la première prière.
06:00 Les enfants se lèvent, ils prennent leur petit déjeuner avec les parents
07:30 L'école des enfants ouvre ses portes
08:00 Début de la journée de travail pour les fonctionnaires
08:30 Les femmes commencent leur journée domestique
13:30 Enfants sortent de l'école
14:30 Fin de la journée de travail pour les fonctionnaires
15:00 Heure du déjeuner tous ensemble à la maison
15:30-16:00 Sieste éventuelle
16:00-19:00 Les enfants et les femmes : devoirs et loisirs à la maison avec des visites de la famille.
16:00-19:00 Les Hommes : sortent visiter les amis, fumer...etc.
20:00 Dîner pour les enfants
21:30 Dîner pour les adultes
23:30 Sommeil

A. Ta., Architecte doctorante à l'université de Batna-1
Journée type à Alger, sa ville natale, pour une famille de classe moyenne avec la mère au foyer :
07:00 Les adultes et les enfants se lèvent et tous font la prière.
07:30 Toute la famille prend le petit déjeuner ensemble
08:00 L'école des enfants ouvre ses portes
08:00 Début de la journée de travail pour les fonctionnaires
08:30 Les femmes commencent leur journée domestique
12:00 Enfants sortent de l'école
12:20 Heure du déjeuner tous ensemble à la maison
13:00 Les enfants vont de nouveau à l'école
13:30-14:30 Sieste éventuelle après la prière
16:30 Fin de la journée de la journée d'école pour les enfants
16:30 Fin de la journée de travail pour les fonctionnaires
17:00 Goûter tous ensemble
17:30-19:30 Les enfants et les pères : devoirs et loisirs à la maison ou à l'extérieur.
18:00 Préparation du dîner par les femmes
19:30 Dîner pour les enfants et les parents
20:30 Moments de partage en famille, devoirs, télévision
22:00 (hiver) - 23:00 (été) Sommeil

Afin de connaître davantage les rapports des familles avec leur maisons nous avons préparé une questionnaire destiné aux familles de classe moyenne du Moyen Orient. Les questions sont destinées à connaître l'utilisation de la maison au quotidien afin d'identifier les pics de consommation journalière, connaître les usages des espaces extérieurs de la maison et les éventuelles caractéristiques thermiques de l'enveloppe. La population qui a répondu est majoritairement universitaire, dans le milieu de l'architecture et de la construction. Les questions et les résultats (en Annexes) mettent en évidence que le quotidien d'une famille de classe moyenne arabe dans une grande ville de la péninsule arabique peut s'approcher des horaires décrits par nos collègues chercheurs. Ce chapitre doit nous permettre d'établir plus tard un planning d'utilisation de maison cohérente avec le mode de vie arabe et occupée toute l'année puisque nous souhaitons connaître la consommation de la maison sous un régime permanent.

## 1-2-3- Le choix de l'habitat: maison ou appartement?

### 1-2-3-1 La problématique du choix à Dubaï

Le choix du type d'habitat dans le Moyen Orient obéit a des choix financiers et sécuritaires. La production de logements dans la région de Dubaï est très représentative des tendances de construction des typologies d'habitat : maison adossée, maison individuelle, petit collectif, grand collectif et la tour, Photo 1-4 et 1-5.

Les deux principaux promoteurs immobiliers dans les Emirats sont Damac et Emaar. Nous avons visité l'un des points de vente de Damac. Les règles de investissement immobilier dans le pays sont très stricts: seuls les citoyens des GCC, Gulf Cooperation Council, ce qui représente la grande part des pays du golfe arabique à l'exception du Yémen, ont le droit d'investir dans tout le périmètre des GCC et donc à être propriétaires de biens immobiliers, les étrangers ne peuvent posséder des biens immobiliers ni des parts des entreprises a plus de 49% des parts. Puisque le marché immobilier ne peut être possédé que par des propriétaires issues des GCC, les utilisateurs de ces biens immobiliers sont en grand partie des locataires étrangers. Cependant les

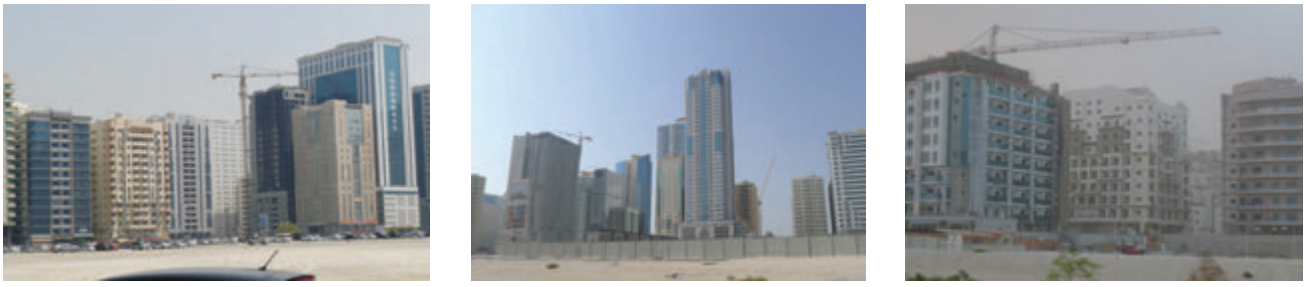


*Photo 1-4 Typologie d'habitat collectif, Sharjah. Crédit : FYu*

*Photo 1-5 Typologie de maisons individuelles , Sharjah. Crédit : FYu*

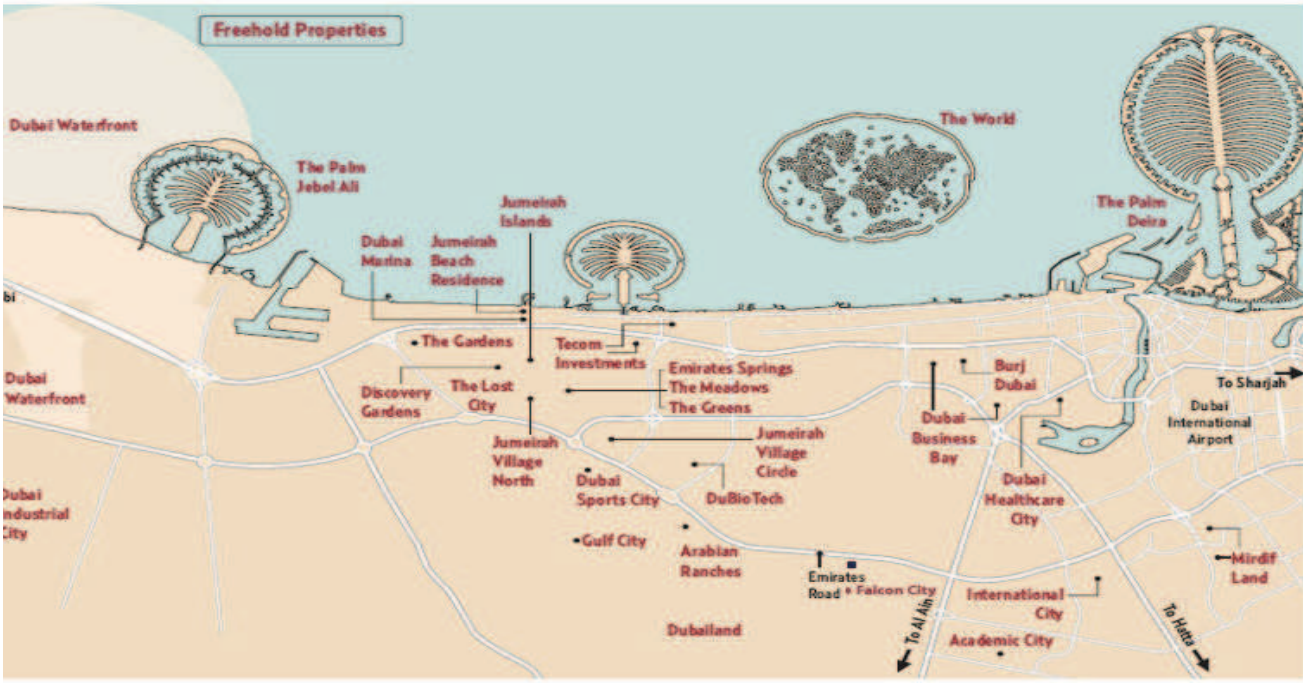



*Figure 1-16 Plan de Dubaï avec l'emplacement des «Free Zones» permettant aux étrangers d'investir.*
*Source: http://www.futurehomesDubaï.com*

UAE ont établi des zones appelées «Free Trade Zones» où les entreprises étrangères peuvent exister avec un capital 100% étranger et où les personnes non GCC peuvent posséder des biens immobiliers. C'est dans ces «Free Trade Zones» qu'une importante partie de la promotion de maisons individuelles se produit du fait des investisseurs étrangers (Figure 1-16).

Lorsque un futur locataire, un acquéreur ou un investisseur doit choisir le type de bien, souvent le choix de typologie d'habitat se réduit a deux Options : appartement ou maison individuelle. Le pouvoir d'achat des ménages orientent rapidement ce choix. La maison individuelle, souvent de grandes dimensions et dans des lotissements avec des frais d'entretien importants : piscines, jardin privatif, golf, parcs, entretien des installations sportives, accès motorisé sans transport en commun...etc., est associée de facto à un budget initiale et de fonctionnement important. Les appartements ont eux aussi des frais de fonctionnement associés mais qui sont moindres, d'une part par sa surface sensiblement plus petite que celle des maisons, et d'autre part la mutualisation des services dans une Copropriété : les attendus de la classe moyenne des pays du golfe font que toutes les tâches qui concernent la maintenance, la gestion des poubelles, la sécurité, les interventions des pannes de climatisations..etc. soient assurés par des gestionnaires extérieurs disponibles souvent 24h/24h dû au bas coût de la main d'oeuvre. De ce fait, les tours et bâtiments, maisons individuelles dans un lotissement ou d'appartements d'un standard moyen-haut dans des petits collectifs, ont une équipe de gestion en permanence

| Type of Building | المجموع Total | ريـــف Rural | حضـــر Urban |
|---|---|---|---|
| **Apartment** | **410,863** | 85 | 410,778 |
| **Villa** | **88,623** | 1,726 | 86,897 |
| **Attached to Villa** | **388** | - | 388 |
| **Arabic House** | **7,411** | 389 | 7,022 |
| **Part of Arabic House** | **453** | - | 453 |
| **Room*** | **10,317** | 500 | 9,817 |
| **Collective Household** | **3,111** | 84 | 3,027 |
| **Other** | **1,199** | 599 | 600 |
| **Total** | **522,365** | **3,383** | **518,982** |

*Figure 1-17 Répartition de l'habitat par typologie et emplacement urbain-rural à Dubaï en 2016*
*Source: Dubaï Statistic Center - www.dsc.gov.ae*

**Buildings by Type and Location ( Urban / Rural ) - Emirate of Dubai ( 2016 )**

| Type of Building | المجموع Total | ريـــف Rural | حضـــر Urban |
|---|---|---|---|
| **One-Story Building** | **1,602** | 440 | 1,162 |
| **Multi-Story Building** | **12,246** | 16 | 12,230 |
| **Floor Area Ratio Building** | **103** | - | 103 |
| **Private Villa** | **44,720** | 1,144 | 43,576 |
| **Investment Villa** | **43,903** | 582 | 43,321 |
| **Arabic House** | **7,411** | 389 | 7,022 |
| **Commercial Building** | **8,759** | 298 | 8,461 |
| **Industrial Building** | **859** | 4 | 855 |
| **Other (Shed - Sandaka - Caravan)** | **5,529** | 644 | 4,885 |
| **Total** | **125,132** | **3,517** | **121,615** |

*Figure 1-18 Répartition de construction par typologie et emplacement urbain-rural à Dubaï en 2016*
*Source: Dubaï Statistic Center - www.dsc.gov.ae*

| Title | 2016 | 2015 | 2011 | 2010 |
|---|---|---|---|---|
| Private Villas | 6,024 | 4,961 | 6,671 | 6,483 |
| Investment Villas | 17,041 | 13,100 | 1,448 | 2,256 |
| Industrial Buildings | 716 | 817 | 410 | 445 |
| Public Commercial Buildings | 728 | 808 | 632 | 705 |
| Multi-Story Buildings | 1,209 | 1,162 | 779 | 870 |
| Floor Area Ratio Buildings | 716 | 632 | 258 | 296 |
| **Total** | **26,434** | **21,480** | 10,198 | 11,055 |
| Number of Residential Apartments | 51,714 | 58,185 | 56,965 | 63,990 |
| Number of Stores | 4,639 | 5,808 | 13,573 | 13,806 |

*Figure 1-19 Répartition de l'habitat en construction par typologie et emplacement urbain-rural et année à Dubaï entre 2016 et 2010*
*Source: Dubaï Statistic Center - www.dsc.gov.ae*

sur le site. Lorsque le budget n'est pas très important, les ménages s'orientent plutôt vers les appartements ou les frais d'entretien et de maintenance des équipements sont mutualisés avec des équipes d'entretien et maintenance associées à plusieurs bâtiments environnants et donc moins onéreux, la sécurité est de facto assurée par la présence en permanence des autres logements habités et souvent un gardien gère les accès en pied de l'immeuble. Au-delà du R+2, la vue dans les ètages est dégagée, en fonction du contexte urbain. Pour avoir les mêmes services les maisons individuelles doivent embaucher ou adhérer à des services bien plus importants d'un point de vue financier.

En 2016, à Dubaï, nous trouvons 410 863 appartements face a 88 623 maisons individuelles, Figure 1-17 à 1-19. Les bâtiments collectifs contiennent 34 appartements en moyenne par bâtiment. La construction en cours en 2016, qui montre bien la tendance du marché actuel, montre que 6 024 maisons individuelles sont en construction face à 1 209 bâtiments collectifs qui représentent (x34) 41 106 appartements neufs sur le marché. La variation entre 2016 et 2015 montre une évolution positive de 20% des maisons individuelles et de 4% d'évolution inter-annuelle des appartements. Le ratio de croissance des maisons individuelles est de quatre fois supérieur à celui des appartements.

Cette même variation entre 2010 et 2011 montre une augmentation des maisons individuelles de 2,8% alors que les bâtiments collectifs entre 2010 et 2011 exprimaient une récession de 10,5%.

Ainsi les deux typologies ont un poids important dans la part de consommation électrique de la ville, les maisons individuelles étant moins nombreuses mais avec un développement en hausse et plus consommatrices car elles sont moins compactes avec plus de surfaces de déperdition et elles utilisent plus de matériaux de construction par m2 habitable. Nous considérons que les deux types doivent être étudiés de près avec leurs spécificités. Dans le cas de cette thèse seulement la typologie de la maison individuelle sera étudiée.

### 1-2-3-2 La problématique du choix en Palestine

D'après des enquêtes sociologiques à Naplouse (Abushosha-2013), la description de la maison idéale pourrait être présentée ainsi : une grande maison non mitoyenne, de plain-pied avec un hall central et un jardin. La vision de la maison individuelle comme habitat idéal semble être partagée par l'ensemble des personnes interrogées et correspond à une représentation collective en terme d'aspirations. Elle semble correspondre, dans l'imaginaire collectif, à la meilleure façon de se loger. Cette organisation du logement est privilégiée lorsque les habitants d'un appartement ont une mobilité réduite. Ainsi, le plain-pied est valorisé aussi bien pour les enfants que pour les personnes âgées. Lorsque les enfants sont petits, un accessibilité sans escalier est préférable mais aussi le jardin de la maison qui fait l'objet d'un terrain de jeu privé. Le contact direct avec le jardin recouvre également un avantage de contact avec la nature et la terre. Cependant l'inconvénient le plus souvent mentionné est celui du coût. Dans ce coût de la maison individuelle, le coût du foncier prend une place majeure. Le deuxième inconvénient de la maison individuelle découle de son éloignement du centre ville . Ainsi, beaucoup de personnes associent la maison individuelle à l'éloignement des services, commerces et autres pôles d'activités. Habiter une maison devient alors synonyme de transport et de déplacements quotidiens. Cette contrainte qui pourrait être évitée lorsque l'on occupe un appartement dans un centre-ville. Par ailleurs

*Photo 1-6 Chambre parentale dans un appartement de classe moyenne a Naplouse.*
*Crédit : FYu*

*Photo 1-7 Salle de reception d'une maison individuelle de classe moyenne haute à Naplouse.*
*Crédit : FYu*

l'appartement en Cisjordanie (Abushosha-2013) est souvent vécu comme un mode d'habiter transitoire avant d'accéder à la propriété. En terme de cycle de vie, il est plutôt privilégié par les étudiants et les jeunes couples avant le premier enfant. Il est donc envisagé par beaucoup, théoriquement et pratiquement, comme un premier logement. Trois inconvénients quant aux critères propres de l'habitat ressortent. Le premier est celui du manque d'espace. La notion d'espace, auparavant mentionnée comme élément participant de l'habitat idéal, est un paramètre qui fait défaut aux appartements selon les gens interrogés malgré la taille moyenne des appartements. Le deuxième est l'inconvénient associé à ce manque d'espace est le sentiment d'enfermement et que le fait d'avoir des voisins tout autour de son habitat renforce ce sentiment. Le troisième point de désagrément, propre à l'appartement en lui-même, est le manque de verdure. Le jardin, qui est également prôné comme un paramètre constitutif de l'habitat idéal, fait défaut dans un appartement même si ce dernier est doté d'un balcon ou d'une petite terrasse.

### 1-2-3-3 Une problématique différente à Riyad

Il nous a paru opportun de s'intéresser aussi a la vision des expatriées dans des villes moins tolérantes, et Riyad est un bon exemple de ville où les lotissements privatifs fleurissent et renvoyaient une image de réussite sociale de la classe moyenne, Photo 1-8. Le témoignage de «Cécile et Maureen», deux expatriées à Riyad qui partagent leurs vécu dans un site pour femmes expatriées (www.femmexpat.com - septembre 2017) décrit bien les besoins actuels de logement auprès des expatriés de classe moyenne supérieure.

*«Le logement à Riyad.*

*Les occidentaux ont le choix entre deux types de lieux de vie. Les maisons en ville ou résider sur un compound. Certains font le choix d'habiter dans des maisons particulières ou des appartements. Vous les trouverez dans le quartier des ambassades, plus vert, mais aussi dans certains quartiers résidentiels. Il faut compter un minimum de 5000 SAR (1070€, par mois) pour une villa. Si vous choisissez une villa, celle-ci sera le plus souvent entourée de hauts murs avec peu ou pas de vue sur l'extérieur. Elles sont plus spacieuses que celles des compounds mais y résider implique d'avoir un chauffeur (et/ou un arrangement avec un taxi) car vous ne bénéficiez pas du bus du compound. Enfin si vous avez des enfants, il sera plus difficile pour eux de rencontrer leurs amis si ceux-ci sont installés dans les résidences, donc les conduites seront fréquentes.*

*Photo 1-8 Lotissement d'expatriés Bawani International à Riyad. Crédit: Ishbilia Compound Riyad*

*La grande majorité des expatriés habitent dans des compounds car ceux-ci sont plus facilement «sécurisables» que des villas. Pour y accéder il faut passer un nombre non négligeables de chicanes et de gardes. Il existe une hiérarchie dans le standing des compounds mais ils fonctionnent tous plus ou moins sur le même mode.*

*Ils comportent entre 50 et 200 maisons (et appartements), plus ou moins identiques, seule varie la taille des maisons (entre 2 et 6 pièces). Le prix de location varie lui aussi en fonction des services offerts. Toutes les maisons sont équipées et meublées de mobilier standard. On peut cependant apporter ses propres effets et demander au manager de retirer ce qui ne vous convient pas. Les avantages des compounds sont nombreux, ce qui explique que ce mode de vie est privilégié par de nombreux occidentaux. Dans la plupart d'entre-deux les équipements sportifs sont à la disposition des habitants (piscine, tennis, salle de sport...) ainsi que des locaux qui permettent de se retrouver pour faire une fête par exemple. Il faut savoir que les clubs de sport hors compound ne sont pas mixtes (jour homme-jour femmes) et sont peu nombreux.*

*Ces ensembles sont très prisés par les jeunes enfants qui peuvent passer d'une maison à une autre et se retrouver facilement Les compounds offrent souvent un petit magasin, ce qui simplifie la vie dans ce pays où les femmes ne sont pas autorisées à conduire et chaque jour des bus (du compound) les emmènent faire des courses dans les malls ou au souk. Pour cela il faut se renseigner sur les heures de départ et les lieux au gate..*

*Autre avantage et pas des moindres vous n'êtes pas contraintes au port de l'abaya dans le compound.*

*Les désavantages sont inhérents aux avantages, il faut pouvoir supporter la vie en «semi-collectivité», certains la voient comme un Club Med, d'autres comme une prison dorée. Cela dépend des caractères et de son humeur, il y a des jours avec et des jours sans....»* .

## 1-2-4- Conclusions

Ce chapitre comme la culture, et la religion, façonne la manière d'habiter le logement et le quartier. La privacité est une qualité incontournable de l'habitat de la région tout en gardant un délicieux équilibre avec une vie sociale et familiale très riche. De ce fait, les zones de réception des invités doivent être minutieusement dessinées en créant les filtres architecturaux qui séparent les zones publiques et privées. Les différentes communautés d'expatriées qui habitent depuis des décennies les villes importantes de la région ont exercé aussi des influences dans la façon d'habiter. Le travail professionnel exercé à la maison oblige à avoir des nouvelles pièces de vie, les bureaux, les salles de réunion, des zones d'accueil d'autres professionnels ou du publique, ... Ce fait oblige les nouveaux logements à avoir une plus grande flexibilité d'aménagement intérieur et une distinction des niveaux de confort intérieur en fonction de la destination de l'usage des pièces intérieures.

Au-delà des différents niveaux culturels, moyens et habitudes, il ressort que l'habitat préféré par les familles est sans doute la maison individuelle. Les appartements sont eux une solution parfois luxueuse mais qui reste moins attractive et plus associée à des jeunes couples et des expatriés célibataires. La maison individuelle n'est cependant accessible qu'à une strate de la société plus restreint de par ses coûts associées de gardiennage, entretien du jardin, ménage, et entretien de la maison. Les coûts de vente et des coûts d'entretien bien plus abordables des appartements font revenir à cette solution qui s'impose en nombre d'unités de logements existants et en volume d'investissement. Cependant pour notre étude nous allons nous intéresser aux maisons individuelles car leur indépendance au regard des autres logements permet d'y associer rapidement une cause/effet recherchée dans cette étude, même si les conclusions de cette étude pourront s'appliquer en grand nombre à des appartements aussi.

# 1-3- Les phénomènes physiques les plus spécifiques en climat chaud

## 1-3-1- Les ouvertures vitrées extérieures

### 1-3-1-1 La taille des ouvertures et l'éclairement intérieur

L'éclairement naturel est proportionnel à la quantité de ciel que nous voyons à travers la fenêtre, à la couverture nuageuse, et a la position du site, latitude et altitude, sur la sphère terrestre. Les pays aux climats très chauds et particulièrement dans le Moyen Orient, ont une latitude entre 15º et 30º, et une altitude qui dépasse rarement les 700m. L'intensité de la lumière dans ces climat est importante pour deux raisons, leur position et la météo souvent avec des ciels très dégagés de par le caractère aride des lieux.

Nous avons fait une simple modélisation d'une journée, le 24 mai, pour montrer la différence de l'intensité de la lumière, entre les villes arabes des pays du Golfe en comparaison avec les villes européennes.

Nous avons juste pris une chambre de 16 m2 avec une fenêtre de HxL 1,5mx1m, et nous comparons les intensités lumineuses en lux au sol, et fonction de l'orientation des fenêtres, Nord et Sud, les résultats (Figure 1-20) montrent clairement les intensités plus importantes à Dubaï que à Bordeaux.

Ces simples expériences montrent le rapport difficile de ce climat avec la lumière extérieure, qui invite à se protéger de la lumière directe et à favoriser une lumière indirecte et filtrée. En effet la lumière dans les pays du Moyen Orient est une lumière qui donne rapidement une sensation forte d'éblouissement de par sa grande intensité lumineuse. La lumière à travers les vitrages des fenêtres est elle aussi très forte qui force aux utilisateurs à fermer les rideaux et rester à des niveaux de lumière très basses. Il est courant dans les espaces intérieurs du Moyen Orient de trouver des intensités de lumière plus basses que dans les pays occidentaux. Ceci pourrait être dû au fait de l'exposition de lumière extérieur intense des yeux humains et une fois à l'intérieur des maisons, l'oeil humain apprécie une intensité de lumière plus basse pour se récupérer de la surexposition précédente. Cet hypothèse ne relève que de l'expérience personnelle des auteurs, mais il pourrait avoir d'autre raisons comme par exemple à éclairement intérieur constant, le contraste avec l'extérieur est plus fort donnant la sensation d'un intérieur sombre. Cette habitude de maisons plus sombres à l'intérieur que dans nos cultures occidentales est due aussi au besoin d'introspection et de privacité recherchée dans la culture arabe.

### 1-3-1-2 La technologie du vitrage en climat chaud

La technologie des vitrages continue a évoluer Les caractéristiques des vitrages ayant une influence sur la consommation énergétique sont les suivantes, la figure 1-21 reflète bien les principales options pour les vitrage en fonction de leur destination :

**1- Indice de conductivité thermique du vitrage (Ug)**

Ceci est le facteur principal d'échanges conductifs et convectifs entre l'intérieur et l'extérieur. Sa valeur peut varier entre 3,5 w/m2K pour un simple vitrage et 0,5 w/m2K pour un triple vitrage, en fonction du nombre des couches de vitrage, et du type de remplissage entre les couches. Les gaz de remplissage les plus habituels sont l'air (Lambda=0,024 W/mK), l'Argon (Lambda=0,019 W/mK), le Kripton (Lambda=0,009 W/mK) et le Xénon (Lambda=0,005 W/mK).

L'Argon est largement le plus utilisé de par son prix, 10% du prix du Xénon, de par sa disponibilité sur le marché et facilité de mise en oeuvre, gaz inerte et très abondant en termes de ressources, puisqu'il est obtenu par fractionnement de l'air liquide, et on le trouve en grande quantité dans l'atmosphère. Le Kripton est plus difficile à produire, par distillation de l'air liquide, et donc plus cher, cependant dû à sa nature inerte, il est souvent combiné avec l'argon pour améliorer les caractéristiques thermiques du vitrage. Le Xénon est un gaz rare, non inerte et compliqué à produire, il peut se substituer à l'argon mais pas se mélanger, pour cette raison son utilisation est plus réduite à cause du prix finale élevé résultant de la menuiserie car le vitrage 100% Xénon revient a un prix très haut.

**2- Facteur solaire «g»**

Communément appelé valeur «g» d'un vitrage, Il s'agit du rapport entre l'énergie qui impact le vitrage et l'énergie qui finalement est émis a l'intérieur par le vitrage. Lorsque le rayonnement solaire est intercepté par une paroi, une partie de l'énergie incidente est directement réfléchie vers l'extérieur, une partie est directement transmise vers l'intérieur et une partie est absorbée par le matériau. Ce dernier s'échauffant, cette énergie sera ré-émise d'une part vers l'extérieur et d'autre part vers l'intérieur.

Plus est petit le FS, moins seront importants les apports énergétiques solaires diurnes par les fenêtres

Dans les climats très chauds, les vitrages sont traités au coeur de sa masse pour leur apporter un facteur solaire suffisant. Il peut arriver que plus est fort le facteur solaire, plus les vitrages deviennent colorés aux teintes sombres, vert marron ou bleu, ce qui est dû au fait que le filtre d'énergie solaire agit en partie comme

Bordeaux 24 mai - fenêtre au Nord

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 28027 | 27691 | 26676 | 26323 | 25891 | 25698 | 26139 | 26611 | 27299 | 28110 | 29106 | 29384 | |
| 27395 | 26822 | 25543 | 24871 | 24171 | 24123 | 24561 | 25222 | 26222 | 27305 | 28782 | 29119 | |
| 27395 | 26822 | 25543 | 24871 | 24171 | 24123 | 24561 | 25222 | 26222 | 27305 | 28782 | 29119 | |
| 26460 | 25483 | 23542 | 22393 | 21542 | 21239 | 21814 | 22899 | 24182 | 26166 | 28461 | 28962 | |
| 25574 | 24275 | 21463 | 19512 | 18081 | 17826 | 18333 | 19114 | 20660 | 24088 | 28115 | 28731 | |
| 25574 | 24275 | 21487 | 19528 | 18093 | 17830 | 18338 | 19123 | 20673 | 24105 | 28140 | 28731 | |
| 24709 | 22898 | 17764 | 12116 | 11427 | 11342 | 11520 | 11777 | 12430 | 15165 | 27874 | 28678 | |
| 23589 | 21242 | 11184 | 17 | 32 | 56 | 51 | 33 | 19 | 13 | 27502 | 28460 | |
| 23589 | 21242 | 11313 | 17 | 32 | 56 | 51 | 33 | 19 | 13 | 27653 | 28468 | |
| 22820 | 19787 | 10108 | 39 | 59 | 71 | 68 | 43 | 29 | 19 | 27173 | 28271 | |
| 22820 | 19787 | 10119 | 39 | 59 | 71 | 68 | 43 | 29 | 19 | 27176 | 28269 | |
| 22445 | 19162 | 9926 | 34 | 51 | 58 | 52 | 39 | 28 | 20 | 26976 | 28088 | |
| 22172 | 19164 | 9889 | 35 | 41 | 45 | 42 | 34 | 28 | 22 | 27097 | 28171 | |
| 22172 | 19164 | 9881 | 35 | 41 | 45 | 42 | 34 | 28 | 22 | 27096 | 28171 | |
| 22673 | 19369 | 9990 | 30 | 35 | 33 | 30 | 27 | 24 | 21 | 27144 | 28241 | |
| 23457 | 20336 | 10150 | 23 | 26 | 26 | 23 | 21 | 21 | 19 | 27376 | 28458 | |
| 23457 | 20336 | 10155 | 23 | 26 | 26 | 23 | 21 | 21 | 19 | 27392 | 28459 | |
| 24633 | 21826 | 10700 | 22 | 22 | 20 | 19 | 18 | 19 | 18 | 27903 | 28855 | |
| 24633 | 21826 | 10710 | 22 | 22 | 20 | 19 | 18 | 19 | 18 | 27901 | 28857 | |
| 26156 | 24442 | 13366 | 11 | 11 | 11 | 9.93 | 9.92 | 8.89 | 7.03 | 28557 | 29291 | |
| 27357 | 26575 | 23181 | 18875 | 18365 | 17412 | 18329 | 18401 | 18511 | 20465 | 29311 | 29627 | |
| 27357 | 26575 | 23283 | 18476 | 18397 | 18293 | 18477 | 18656 | 18891 | 20004 | 29230 | 29618 | |
| 28130 | 27692 | 26882 | 26335 | 25892 | 25835 | 26062 | 26414 | 27066 | 28110 | 29495 | 29692 | |
| 28734 | 28422 | 27958 | 27729 | 27443 | 27304 | 27536 | 27874 | 28311 | 29022 | 29709 | 29875 | |
| 28734 | 28422 | 27950 | 27709 | 27415 | 27275 | 27508 | 27845 | 28282 | 29003 | 29709 | 29875 | |

Dubaï 24 mai - fenêtre au Nord

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 29877 | 29757 | 29346 | 29159 | 28902 | 28766 | 28776 | 28859 | 28999 | 29288 | 29714 | 29848 | |
| 29717 | 29501 | 28831 | 28436 | 27973 | 27814 | 27746 | 27876 | 28160 | 28588 | 29400 | 29608 | |
| 29461 | 29051 | 27801 | 26927 | 26160 | 25809 | 25758 | 26014 | 26421 | 27349 | 28889 | 29354 | |
| 29461 | 29051 | 27801 | 26927 | 26160 | 25803 | 25763 | 26017 | 26421 | 27349 | 28889 | 29354 | |
| 29153 | 28522 | 26207 | 24147 | 22606 | 22193 | 22184 | 22379 | 22906 | 24763 | 28160 | 28891 | |
| 28833 | 27808 | 22369 | 15081 | 13990 | 13820 | 13815 | 13882 | 14110 | 15618 | 27161 | 28482 | |
| 28347 | 26875 | 15397 | 12 | 25 | 62 | 94 | 52 | 23 | 12 | 25705 | 27862 | |
| 28347 | 26875 | 15525 | 12 | 25 | 62 | 94 | 52 | 23 | 12 | 25723 | 27862 | |
| 28017 | 26026 | 14324 | 23 | 40 | 73 | 110 | 64 | 34 | 18 | 24627 | 27347 | |
| 27771 | 25619 | 14137 | 19 | 33 | 49 | 59 | 44 | 27 | 18 | 24190 | 26970 | |
| 27621 | 25536 | 14056 | 19 | 24 | 32 | 36 | 30 | 23 | 18 | 24137 | 26928 | |
| 27621 | 25536 | 14064 | 19 | 24 | 32 | 36 | 30 | 23 | 18 | 24137 | 26928 | |
| 27703 | 25531 | 14098 | 17 | 21 | 22 | 23 | 21 | 18 | 16 | 24127 | 26928 | |
| 27870 | 25808 | 14180 | 13 | 14 | 16 | 16 | 15 | 16 | 14 | 24316 | 27090 | |
| 28177 | 26274 | 14469 | 12 | 13 | 13 | 13 | 13 | 14 | 14 | 24884 | 27538 | |
| 28177 | 26274 | 14459 | 12 | 13 | 13 | 13 | 13 | 14 | 14 | 24886 | 27538 | |
| 28609 | 27237 | 15967 | 5.10 | 5.47 | 5.85 | 5.77 | 5.94 | 5.10 | 4.11 | 26140 | 28206 | |
| 29068 | 28276 | 23846 | 17373 | 16388 | 16158 | 16154 | 16245 | 16456 | 17825 | 27758 | 28877 | |
| 29410 | 28969 | 27445 | 26007 | 24938 | 24619 | 24499 | 24653 | 25160 | 26307 | 28669 | 29211 | |
| 29410 | 28969 | 27421 | 25986 | 24908 | 24589 | 24470 | 24624 | 25131 | 26286 | 28669 | 29211 | |
| 29706 | 29413 | 28617 | 28060 | 27500 | 27209 | 27122 | 27279 | 27570 | 28280 | 29288 | 29601 | |

0.00

Valeurs en L

Bordeaux 24 mai - fenêtre au Sud

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30182 | 30133 | 29879 | 29784 | 29546 | 29334 | 29136 | 29073 | 29003 | 29115 | 29267 | 29329 | |
| 30096 | 30009 | 29742 | 29548 | 29153 | 28961 | 28535 | 28485 | 28466 | 28518 | 28784 | 28895 | |
| 30096 | 30009 | 29742 | 29548 | 29153 | 28971 | 28568 | 28496 | 28466 | 28518 | 28784 | 28895 | |
| 30024 | 29895 | 29488 | 29062 | 28529 | 28159 | 27778 | 27651 | 27449 | 27690 | 28163 | 28377 | |
| 29915 | 29746 | 29067 | 28011 | 26865 | 26327 | 25980 | 25889 | 25661 | 26066 | 27177 | 27550 | |
| 29915 | 29746 | 29193 | 28244 | 27138 | 26612 | 26293 | 26155 | 25946 | 26296 | 27178 | 27550 | |
| 29828 | 29611 | 26751 | 20011 | 19167 | 18873 | 18695 | 18629 | 18513 | 18596 | 25848 | 26630 | |
| 29605 | 29262 | 20677 | 15 | 22 | 41 | 103 | 95 | 59 | 29 | 21909 | 24533 | |
| 29605 | 29271 | 21062 | 15 | 22 | 41 | 103 | 95 | 59 | 29 | 21925 | 24533 | |
| 29441 | 28817 | 20071 | 31 | 46 | 73 | 182 | 168 | 121 | 67 | 18163 | 22068 | |
| 29441 | 28815 | 20140 | 31 | 46 | 73 | 182 | 168 | 121 | 67 | 18161 | 22068 | |
| 29212 | 28438 | 19912 | 31 | 50 | 76 | 139 | 140 | 104 | 79 | 16399 | 20212 | |
| 28997 | 28267 | 19745 | 38 | 49 | 65 | 106 | 105 | 91 | 79 | 15871 | 19555 | |
| 28997 | 28266 | 19758 | 38 | 49 | 65 | 106 | 105 | 91 | 79 | 15871 | 19555 | |
| 28952 | 28115 | 19730 | 37 | 46 | 52 | 73 | 74 | 67 | 59 | 15650 | 19165 | |
| 28936 | 28148 | 19732 | 31 | 37 | 41 | 51 | 52 | 55 | 50 | 15731 | 19259 | |
| 28936 | 28149 | 19699 | 31 | 37 | 41 | 51 | 52 | 55 | 50 | 15733 | 19259 | |
| 28970 | 28206 | 19780 | 31 | 33 | 33 | 40 | 41 | 45 | 45 | 16316 | 19901 | |
| 28970 | 28208 | 19710 | 31 | 33 | 33 | 40 | 41 | 45 | 45 | 16318 | 19901 | |
| 29069 | 28388 | 19829 | 15 | 17 | 19 | 23 | 25 | 24 | 19 | 18039 | 21333 | |
| 29198 | 28675 | 25103 | 15181 | 12264 | 11376 | 11213 | 11269 | 11340 | 12292 | 20941 | 23002 | |
| 29198 | 28665 | 24722 | 15208 | 12432 | 11578 | 11393 | 11429 | 11496 | 12316 | 20964 | 23002 | |
| 29275 | 28815 | 27147 | 23970 | 20637 | 19097 | 17895 | 17802 | 18034 | 19280 | 22752 | 24091 | |
| 29404 | 28988 | 27703 | 26178 | 24153 | 22605 | 21342 | 21158 | 21421 | 22524 | 24598 | 25531 | |
| 29404 | 28988 | 27687 | 26178 | 24153 | 22605 | 21342 | 21158 | 21421 | 22524 | 24598 | 25531 | |

Dubaï 24 mai - fenêtre au Sud

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30097 | 30019 | 29768 | 29656 | 29480 | 29383 | 29350 | 29384 | 29423 | 29587 | 29842 | 29918 | |
| 29991 | 29851 | 29454 | 29216 | 28874 | 28757 | 28634 | 28690 | 28813 | 29051 | 29551 | 29683 | |
| 29837 | 29583 | 28821 | 28244 | 27662 | 27380 | 27244 | 27366 | 27525 | 28072 | 29062 | 29405 | |
| 29837 | 29583 | 28821 | 28244 | 27663 | 27378 | 27283 | 27380 | 27524 | 28072 | 29062 | 29405 | |
| 29630 | 29239 | 27844 | 26377 | 25088 | 24718 | 24651 | 24708 | 24914 | 26021 | 28280 | 28887 | |
| 29420 | 28776 | 24640 | 17583 | 16581 | 16369 | 16333 | 16343 | 16447 | 17280 | 27064 | 28325 | |
| 29049 | 28064 | 17554 | 13 | 25 | 64 | 132 | 74 | 30 | 14 | 24892 | 27422 | |
| 29049 | 28064 | 17703 | 13 | 25 | 64 | 132 | 74 | 30 | 14 | 24907 | 27422 | |
| 28791 | 27340 | 16393 | 23 | 41 | 83 | 158 | 95 | 49 | 24 | 23132 | 26577 | |
| 28542 | 26925 | 16164 | 20 | 36 | 58 | 82 | 64 | 37 | 23 | 22402 | 25964 | |
| 28382 | 26795 | 16071 | 22 | 28 | 37 | 48 | 41 | 32 | 24 | 22226 | 25815 | |
| 28382 | 26795 | 16061 | 22 | 28 | 37 | 48 | 41 | 32 | 24 | 22225 | 25815 | |
| 28395 | 26726 | 16084 | 19 | 24 | 26 | 30 | 28 | 24 | 20 | 22164 | 25743 | |
| 28465 | 26867 | 16105 | 16 | 18 | 19 | 20 | 19 | 20 | 18 | 22298 | 25865 | |
| 28637 | 27130 | 16270 | 16 | 16 | 15 | 16 | 16 | 17 | 17 | 22803 | 26303 | |
| 28637 | 27130 | 16276 | 16 | 16 | 15 | 16 | 16 | 17 | 17 | 22805 | 26303 | |
| 28891 | 27711 | 17126 | 5.79 | 6.35 | 7.19 | 7.52 | 7.86 | 7.37 | 6.02 | 24145 | 27091 | |
| 29209 | 28438 | 23653 | 15644 | 14014 | 13597 | 13607 | 13678 | 13843 | 15225 | 26201 | 27966 | |
| 29451 | 28967 | 26999 | 24706 | 22938 | 22369 | 22081 | 22199 | 22706 | 24068 | 27561 | 28492 | |
| 29451 | 28967 | 26973 | 24689 | 22913 | 22344 | 22056 | 22175 | 22681 | 24051 | 27561 | 28492 | |
| 29697 | 29351 | 28246 | 27317 | 26392 | 25873 | 25632 | 25761 | 26093 | 27003 | 28554 | 29082 | |

8.00

0.00

0.00

8.00 m

Valeurs en Lux, Echelle

*Figure 1-20 Valeur des intensités lumineuses,en lux, d'une chambre à Bordeaux et à Dubaï avec fenêtre au Nord et au Sud avec un maillage de 60cm . Logiciel : DIALUX*

filtre de la lumière visible, cette autres propriétés est la Transmission Lumineuse. Les dernières années un important effort technologique a été fait pour découpler au maximum ces deux propriétés.

Il faut noter aussi que au fur et à mesure que nous rajoutons des couches de vitrage nous augmentons le facteur solaire de l'ensemble, ainsi les triples vitrages rajoutent un filtre supplémentaire et donc un facteur solaire inférieur aux doubles vitrages et bien évidement très inférieur aux simples vitrages. Cela veux dire que une fenêtre en triple vitrage en plus d'être moins déperditive dans sa surface, elle aura naturellement moins de captation de l'énergie du soleil en climat chaud.

**3- Transmission Lumineuse TL**

Lorsque la lumière visible du soleil est interceptée par une paroi, une partie de la lumière est réfléchie vers l'extérieur, une partie est absorbée par le vitrage, une partie est transmise à l'intérieur. Le rapport entre la lumière interceptée par le vitrage et la lumière transmise à l'intérieur est appelé transmission lumineuse de la paroi, TL. Cet index décrit la capacité du vitrage à bloquer le rayonnement solaire dans La gamme de fréquences correspondant a la lumière visible. Les vitrages avec une Transmission Lumineuse élevé sont des vitrages très clairs ou la lumière rentre généreusement, et au contraire un facteur de luminosité bas indique que la lumière visible est filtrée et cela donne au vitrage un aspect plutôt sombre.

**4- Combinaison entre G et TL**

Aujourd'hui le tensor des performances (g,TL) que nous pouvons trouver auprès des fournisseurs habituels est conditionné au fait que le contrôle du facteur solaire a une influence sur la transmission lumineuse d'un vitrage ; toutes les combinaisons ne sont pas possibles. En effet, le rayonnement visible forme la moitié du spectre solaire. Ainsi, le facteur solaire ne peut être inférieur à la moitié de la transmission lumineuse ; cela correspond à la zone supérieure verte du graphique ci-dessous, qu'il n'est donc pas possible d'atteindre.

Pour un climat chaud, le plus performant (0.15 , 0.2) et le plus lumineux (0.55 , 0.95), feront partie du choix du concepteur en fonction de la destination, orientation, vue et fonction du vitrage dans le projet. (Figure 1-22a).

**5- L'émissivité des vitrages**

Quand de la chaleur, sous forme d'ondes longues, ou de l'énergie solaire, sous forme d'ondes courtes, est absorbée par un vitrage, elle est ré-émise par le vitrage, soit par convection d'air le long de sa surface, soit par radiation de la surface du vitrage vers les autres surfaces plus froides donc vers l'extérieur en climat froid,

| Type de vitrage | | Coefficient U | Transmission lumineuse | Facteur solaire | Aspect en réflexion | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | (W/m²K) | TL % | FS % (g) | | Rw |
| **Simple** | clair (8 mm) | 5,8 | 90 | 86 | neutre | 31 |
| **Double** | clair | 2.8 | 81 | 76 | neutre | 29 |
| | clair + basse émissivité | 1,6 | 70 | 55 | neutre | 29 |
| | clair + absorbant | 2,8 | 36 à 65 | 46 à 67 | vert, bronze, bleu, rose, .... | 31 |
| | clair + réfléchissant | 2,8 | 7 à 66 | 10 à 66 | argenté, métallique, doré, gris, vert, bleu,.... | 31 |
| | clair + basse émissivité et réfléchissant | 1,6 | 71 | 40 | neutre | - |
| | clair + basse émissivité + gaz isolant | 1 à 1,3 | 70 | 55 | neutre | 33 |
| | clair + basse émissivité et réfléchissant + gaz isolant | 1 à 1,3 | 71 | 40 | neutre | - |
| **Triple** | clair | 1,9 | 74 | 68 | neutre | - |
| | clair + basse émissivité + gaz isolant | 0,6-0,8 | 65-75 | 50-70 | neutre | - |
| | clair + basse émissivité (int) + contrôle solaire (ext) gaz isolant | 0,6-0,8 | 60-70 | 30-40 | neutre | - |

*Figure 1-21 Caractéristiques, U, TL, et G, des typologies des vitrages les plus habituelles . Source: www.energieplus-lesite.be*

et la nuit éventuellement en climat chaud. Par conséquent en climat chaud, la réduction de la chaleur émise par les fenêtres sous forme de radiation peut bloquer la chaleur a l'intérieur de l'habitat

La capacité d'un matériau à émettre de la chaleur de manière radiative est appelée son émissivité. Ce coefficient d'émissivité varie en fonction de la longueur d'onde du signal émis. Les fenêtres, ainsi que les matériaux que l'on trouve à l'intérieur d'un bâtiment, émettent typiquement des radiations sous forme d'infrarouges de très grande longueur d'onde. A savoir enfin que pour une longueur d'onde donnée, le coefficient d'absorption d'un matériau est égal au coefficient d'émissivité. Les vitrages standards ont une émissivité de 0.84 sur l'entièreté du spectre. Cela signifie qu'ils émettent 84 % de l'énergie possible pour un objet à cette température. Cela signifie également qu'en ce qui concerne les rayonnements à grande longueur d'onde qui frappent la surface du verre, 84 % est absorbé et seulement 16 % est réfléchi.

En climat froid, les vitrages les plus recherchés sont ceux appelés «de basse émissivité» qui peut atteindre des valeurs émissivité de 0,04, ce qui signifie un rayonnement vers l'extérieur de 4% du maximum possible. Cette couche «basse émissivité» est, en général, une couche métallique, en argent par exemple, déposée sous vide et qui doit être placée à l'intérieur du double vitrage vu sa fragilité. Elle bloquera une partie du transfert de chaleur par rayonnement vers l'extérieur (froid), diminuant ainsi le flux total de chaleur au travers de la fenêtre en laissant pénétrer l'énergie solaire (à courte longueur d'onde) à travers un vitrage tout en empêchant la chaleur (à grande longueur d'onde) de quitter ce local.

Dans les fenêtres en général et en particulier celles en double vitrage, Figures 1-22 et 1-24, les faces des vitrages sont numérotées à partir de 1 jusqu'au 2 (simple vitrage), 4 (double vitrage) ou 6 (triple vitrage) depuis extérieur vers l'intérieur. En fonction de la position de cette couche de basse émissivité dans les possibles faces, de 1 à 6, le comportement de la fenêtre sera très différent. Si l'on cherche à laisser passer la chaleur solaire (FS élevé), la couche basse émissivité sera placée sur le verre intérieur du double vitrage, en face 3. La chaleur absorbée par la vitre sera ré-émise vers l'intérieur. Si l'on cherche au contraire à diminuer la chaleur solaire entrante (FS faible), la couche basse émissivité sera placée en face 2, la chaleur absorbée par le vitrage étant alors essentiellement ré-émise vers l'extérieur. Dans ce cas, on peut adjoindre une couche réfléchissante à la couche basse émissivité pour diminuer encore FS.

Aurions nous intérêt à avoir une haute émissivité dans les fenêtres? Aujourd'hui des verres à très haute émissivité sont rares dans le marché, mais pas inexistants : Saint Gobain propose un verre avec une émissivité de 0,9 qui est utilisé par les navettes spatiales lorsqu'elles arrivent sur la Terre et qu'elles doivent rejeter une grande partie de la chaleur produite par la rentrée à grande vitesse dans l'atmosphère. Pour le projet Solar Decathlon Middle East (SDME) 2018, Saint Gobain nous a proposé comme vitrage optimale pour Dubaï, des elements avec un G = 0,6 et une TL de 80%. Ce qui est loin de ce qui se pratique aujourd'hui dans la région, où les valeurs de la protection solaire atteignent G<0,4 facilement. La raison de cette performance est le faible ensoleillement des fenêtres du projet *Baitykool* de l'équipe de Bordeaux (Figure 1-23).

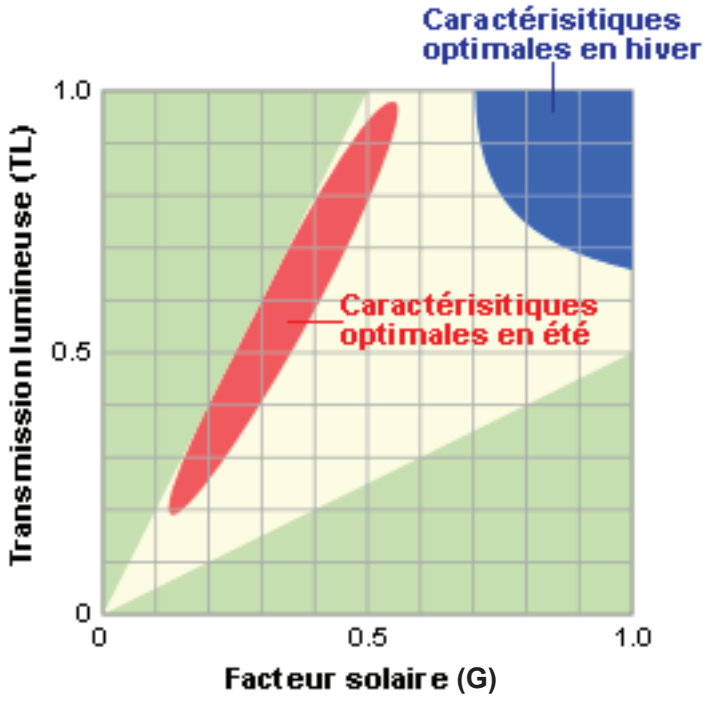



*Figure 1-22a Rapport entre le Facteur solaire G et la Transmission lumineuse TL. Source: www.energieplus-lesite.be*

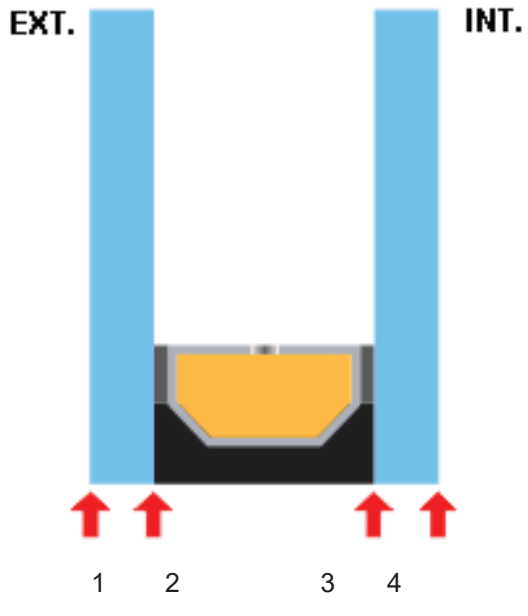



*Figure 1-22b Position des 4 surfaces type d'un double vitrage Source: www.energieplus-lesite.be*

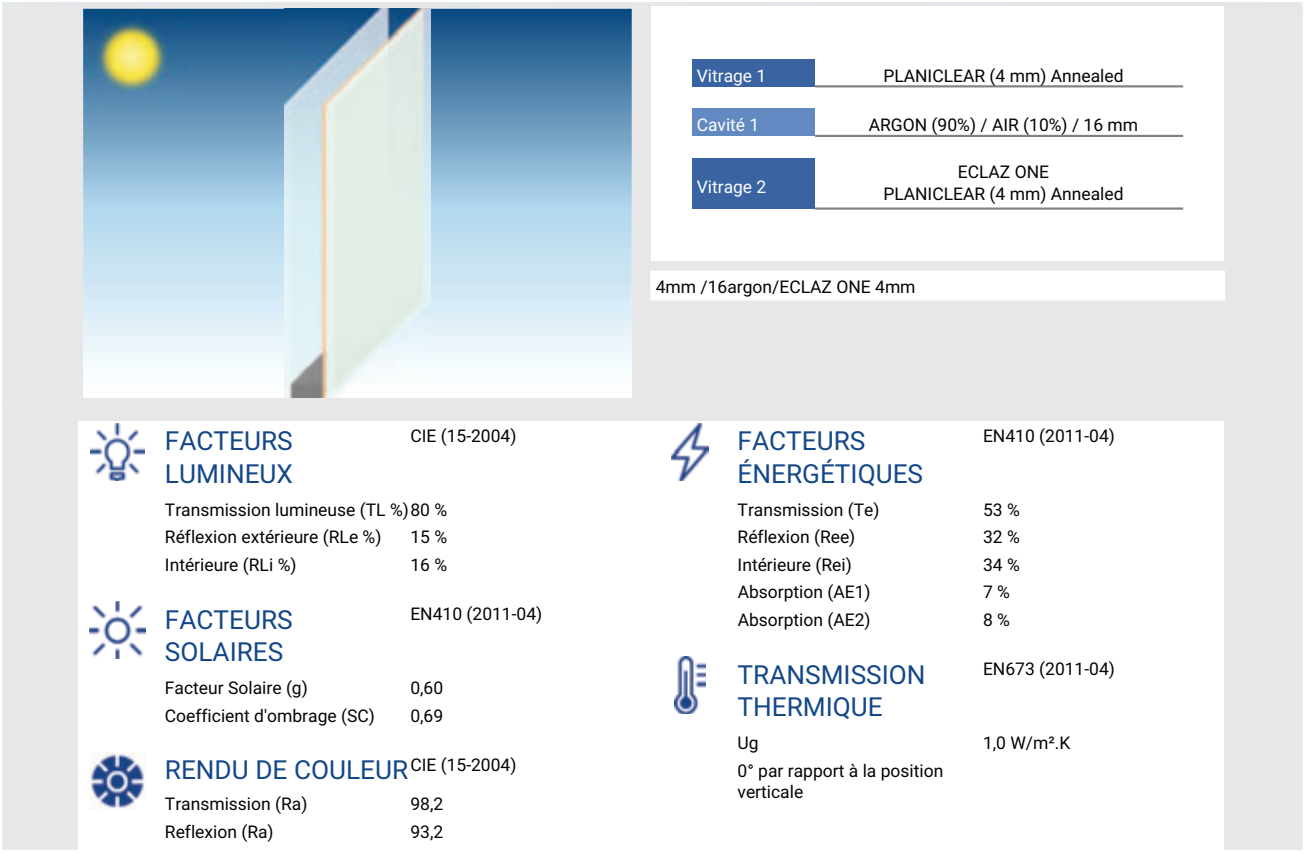



*Figure 1-23 Caractéristiques du vitrage utilisé pour le prototype Baitykool-SDME 2018 Dubai*

## 6- Conclusion

Un vitrage optimale dans un climat chaud devrait être:

Triple vitrage avec un remplissage à l'Argon ( moins cher) ou Argon-Kripton (plus cher) : plus le vitrage aura une Uw basse moindres seront les apports par conduction à l'intérieur du logement.

Combinaison (TL, G) = (60,30) Cet combinaison permet d'avoir les paramètres les plus élevés de transmission lumineuse (TL) avec un facteur solaire (G) très bas. Ceci est la combinaison la plus performante à ce jour dans le marché des vitrages en climat chaud. La couche de basse émissivité se située dans la face nº2 du vitrage : Cette position permet une protection optimale des apports solaires extérieurs seulement, elle ne permettra pas à la chaleur interne de s'échapper facilement en dehors des heures ensoleillées.

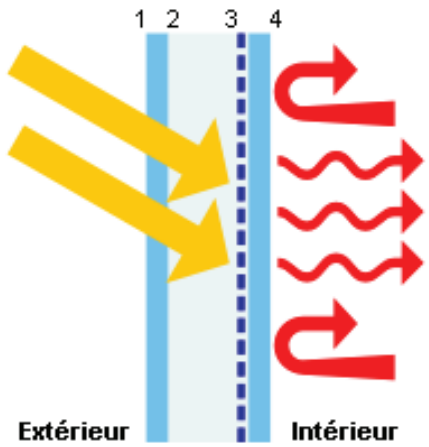



*Figure1-24a Montage pour climat froid: la surface réfléchissante en surface 3.*
*Source: www.energieplus-lesite.be*

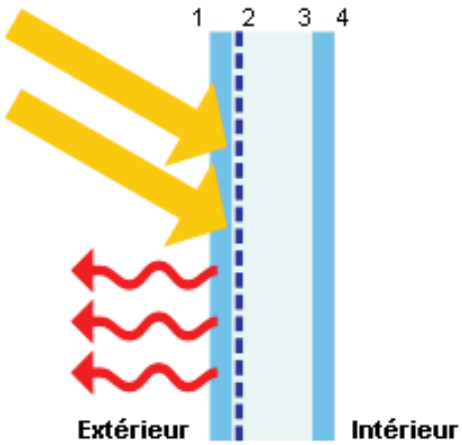



*Figure1-24b Montage pour climat chaud: la surface réfléchissante en surface 2.*
*Source: www.energieplus-lesite.be*

## 1-3-2- L'humidité relative en climat chaud

La vapeur d'eau est un élément naturel dans l'air, et il est particulièrement présente dans les pays de climat très chaud car plus l'air a une température importante plus il est en mesure de transporter de la vapeur d'eau au sein du corps fluide. En terme de confort et de consommation énergétique nous allons nous intéresser a la valeur de l'humidité relative, HR, puisque c'est cette valeur qui décrit au mieux la sensation d'inconfort hygrothermique. En effet elle détermine la capacité d'un corps a se refroidir par évapotranspiration. Elle a aussi un forte influence sur la qualité de l'air intérieur puisque les bactéries commencent a se développer au dessus des valeurs de 70% HR. Le corps des ingénieurs maintiennent que les systèmes de climatisation doivent être capables de garder une humidité relative au-dessous de 65%HR ce qui réduit considérablement les risques d'inconfort et collatéraux de corrosion dans la structure (CIBSE)

Dans les pays du Moyen Orient au climat très chaud l'humidité dans l'air extérieur a des fortes variations journalières et saisonnières. Ces variations sont évidement plus marquées si la ville est une ville côtière qu'á l'intérieur des terres. De façon générale à teneur égale d'humidité absolue dans l'air, l'humidité relative augmente avec la baisse des températures et vice-versa. Ainsi dans un territoire sans apports spécifique d'eau, pluie ou vent humide, alors l'humidité relative montera la nuit avec les basses températures et diminuera le jour avec l'augmentation des températures extérieures. Ceci sera de même avec les variations annuelles où les saisons chaudes auront tendance à refléter des niveaux d'humidité relative plus bas que les saisons froides, nonobstant, cette tendance est plus claire dans des régions intérieures éloignées de la mer que dans des régions côtières. Les régions côtières auront une tendance à souffrir les pics d'humidités relative les plus importants (Figure 1-25). En effet pendant les mois intermédiaires d'octobre et novembre, les vents marins rajoutent sans cesse de l'humidité absolue dans la masse d'air. Ce phénomène est amplifié par l'augmentation de la température de la masse de l'eau après l'été qui a une tendance plus importante à générer de la vapeur

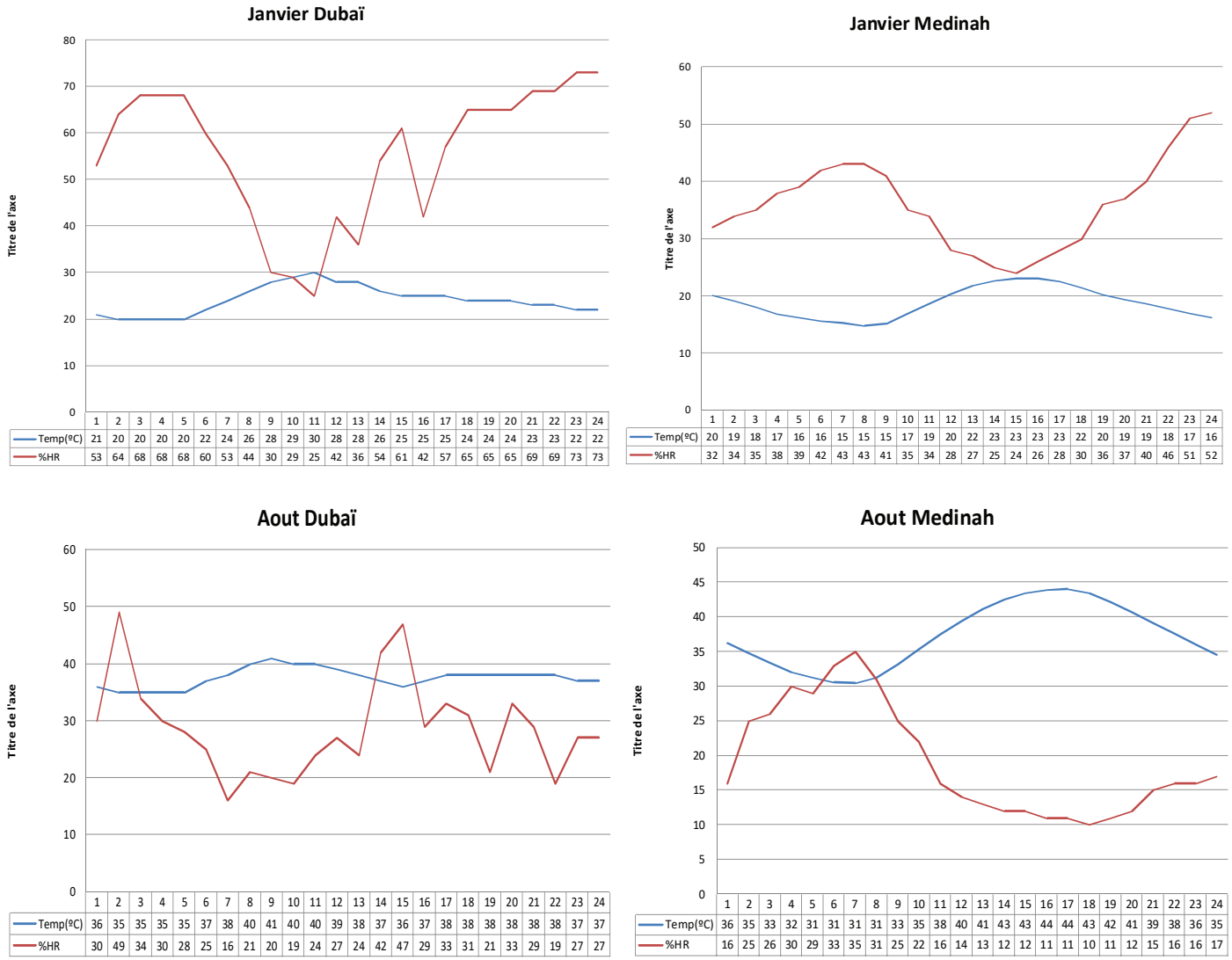



*Figure 1-25 Variations journalières de l'humidité relative (HR%) et de la température de l'air sec dans deux villes réputées aux climats très chaud, mais sec (Médine, KSA) ou humide (Dubaï, UAE)*

d'eau que pendant les mois qui suivent la saison chaude.

La valeur de l'humidité relative a un impact directe avec la température de confort, car en réalité le confort hygrométrique ne dépend pas d'une valeur scalaire mais d'un tenseur (Température, Humidité ) que nous évaluerons dans le point température ressentie, plus tard dans ce chapitre. Mais le paramètre de température seule ne suffit pas à déterminer le besoin de climatisation. L'humidité est le deuxième facteur complémentaire du confort. Le valeur de l'humidité relative (%HR) peut faire monter ou descendre la température limite de confort. Selon le diagramme de Givoni la température du seuil de confort en climat humide au-dessus de 40%HR, est de 26ºC pour 80%HR, mais en climat sec avec une humidité au-dessous de 40%HR, les seuils de température peuvent monter jusqu'au 28ºC. Ainsi plus est importante l'humidité relative, moins importante sera la limite de température et en conséquence deux villes avec les même températures mais une plus humide que l'autre, par sa proximité a la mer par exemple, aura une consommation prévisible plus importante à confort égal. Nous partons alors sur l'hypothèse que dans tous les cas de climats de villes, humide ou sec, les utilisateurs mettrons en place un système pour assurer un niveau de confort standard, et donc pendant que avec un climat aride, avec un HR basse, la consommation principale de climatisation sera due à l'effort de refroidir l'air à humidité constante, dans un climat plus humide d'une ville côtière, la consommation de climatisation sera due en grande partie à la deshumidification de l'air, car plus il y a de la vapeur d'eau dans l'air plus les processus adiabatiques demandent de l'énergie pour rafraîchir l'air.

Notre approche ultérieure sera en partie basée sur l'utilisation de DJR et des DJC pour déterminer les stratégies passives à mettre en place et donc vue que l'humidité a une forte influence sur le seuil de confort acceptable, alors la question est : comment peut-on intégrer la valeur de l'humidité moyenne journalière dans les valeurs des DJR pour avoir des degrés jour équivalents après intégration des humidités relatives, que nous pourrions appeler DJRHR de telle forme que deux villes avec les mêmes DJRHR aient dans la réalité des consommations en climatisation équivalentes ? La réponse a cette question aura des incidences sur le classement des villes avec le plus gros potentiel de dépense énergétique, ce qui permettra de justifier davantage des politiques de subventions ou réglementaires à partir d'une vraie équivalence climatique. A titre d'exemple, le code de la construction du gouvernement de l'Arabie Saoudite base ses préconisations de performance d'isolation des murs en fonction de la valeur des DJR de chaque ville, sans prendre en compte l'humidité relative. Dans ce cas une ville comme Jeddah devrait mettre moins d'isolation au murs que Riyad alors qu'en termes de consommation au m2 les maisons à Jeddah sont plus énergivores que celles de Riyad. (ALDOSSARY Naief, REZGUI Yacine, KWAN Alan -2014- )

Il existe des méthodes tenant compte de correction des DJR en fonction de la chaleur sensible de l'air (SHIN Minjae, LOK DO Sung -2015-) mais à ce jour nous n'avons rien trouvé de simple pour intégrer des corrections par la %HR. Nous proposons une méthode plus robuste qui consiste a utiliser l'équation de l'Index de Chaleur présenté précédemment à fin de trouver la température ressentie équivalente avec une humidité standard de 40%HR en fonction du taux d'humidité relative réel. Nous développerons cette méthode plus loin dans ce document.

Autres que l'humidité relative de l'air extérieur, les sources de l'augmentation de l'humidité relative à

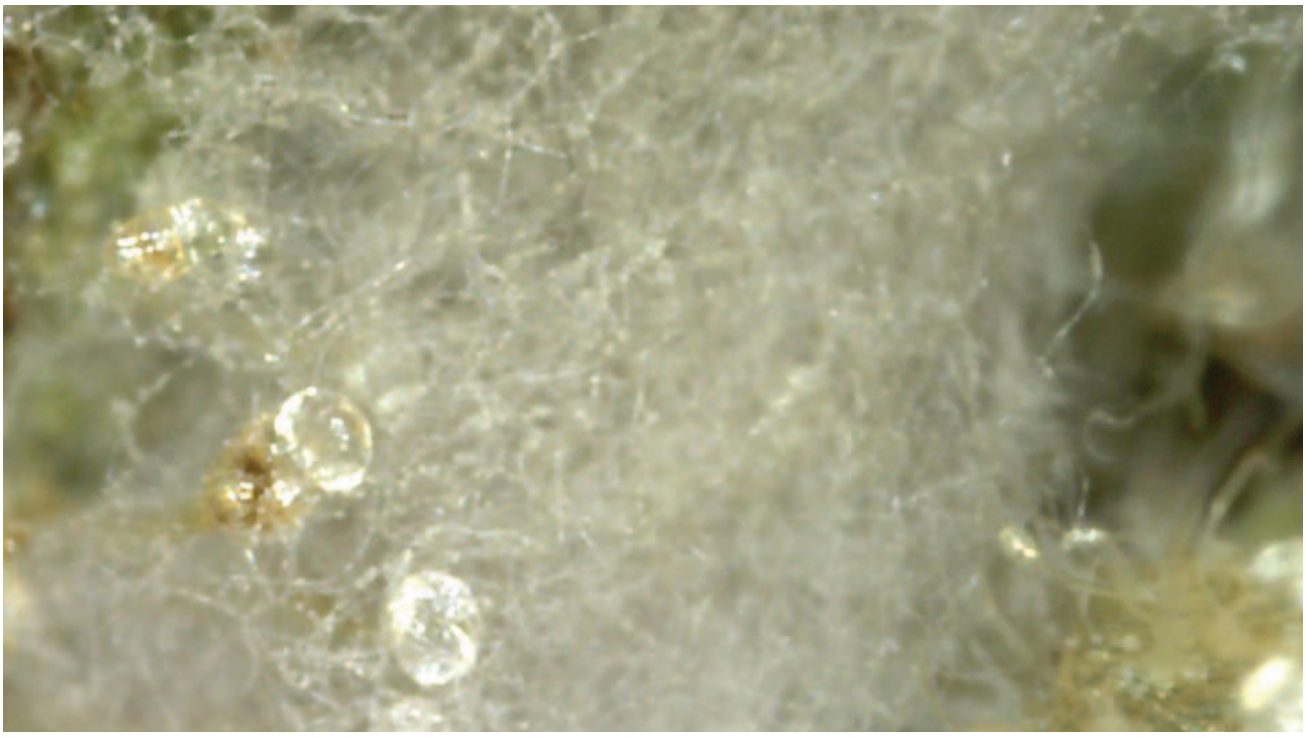


*Photo 1-9 Humidité attrapée dans le réseau des fibres de l'isolation Crédit photo : Inconnu*

l'intérieur du bâtiment peuvent aussi être : la pluie, le brouillard, l'eau du sol et ses infiltrations par capillarité, des fuites et des défaillances des systèmes contenant l'eau. Les bâtiments au Moyen Orient ne subissent pas des contrôles poussés face aux infiltrations, même si elles sont très occasionnelles. Ainsi en cas de tempête, les bâtiments font souvent face à des fuites et des infiltrations qui viennent mouiller la structure et qui produisent par la suite une montée de l'humidité dans le bâtiment. Le brouillard du matin peut aussi pousser des petites goûtes d'eau dans l'air à travers le système de ventilation, Dans ce cas puisque il s'agit encore des petites gouttes d'eau liquides, elles participent au refroidissement de l'intérieur au cas ou elles réussissent à s'évaporer, ce qui crée un bilan de refroidissement intéressant. Encore faut-il gérer par deshumidification la montée de l'humidité relative intérieure.

### 1-3-2-1 La condensation à travers les isolants sous conditions de forte humidité

Une autre source d'eau est celle qui se produit par la condensation de l'air entrant par les fissures ou par les équipements, et qui étant chaud et humide, vient se condenser sur des surfaces intérieures froides et proches des arrivées de l'air extérieur, Photo 1-9.

Sous l'influence de la différence de pression de vapeur d'eau des deux côtés d'une paroi, la vapeur a tendance à vouloir migrer par diffusion à travers celle-ci. Pour éviter les phénomènes de condensation interne, il est parfois nécessaire de placer du côté chaud de l'isolant d'une paroi, une couche de matériau relativement étanche à la vapeur d'eau. Cette couche de matériau en climat froid est appelée «écran pare-vapeur». Le pare-vapeur remplit les fonctions suivantes :

-Éviter une condensation excessive due à la migration de l'air chaud avec une importante capacité de transport de vapeur d'eau vers une température plus froide où l'air ne peut pas contenir la même masse d'eau et la condensation apparaît.

-Empêcher, dans l'isolant thermique, l'absorption d'eau par capillarité en provenance des éléments de construction contigus.

-Assurer l'étanchéité provisoire à l'eau de pluie lors de la construction.

-Assurer l'étanchéité à l'air.

En climat chaud, le risque principal de condensation est lié à la diffusion de vapeur en été quand la pression de vapeur est plus importante à l'extérieur qu'à l'intérieur et que la vapeur a donc tendance à traverser la paroi de l'extérieur vers l'intérieur, contrairement aux climats européens froids.

Les modèles d'évaluation statiques pour climat froid entraînent presque systématiquement le choix d'une membrane très étanche à la vapeur du côté intérieur. Cependant suivant la même logique des principes de condensation en contact avec une paroi froide en climat chaud ce contact est maximale dans la face intérieur de l'isolant, il s'agit donc d'empêcher que l'air chaud et humide puisse arriver à cette surface. Ce dernier phénomène peut être très pénalisant lorsque ces fissures se produisent à l'intérieur de l'isolant, si l'air chaud et humide extérieur n'est pas arrêté avant par un pare-vapeur, c'est alors que un bâtiment en dépression fait

*Photo 1-10 Condensation à l'exterieur d'un cafè climatisé à Dubaï avec des ouvertures en méthacrylate (basse isolation) dans une soirée avec une forte humidité relative. Crèdit photo : FYu*

*Photo 1-11 Traces de moisissure provoquées par l'humidité dans l'isolant par une condensation due à la migration de l'eau de condensation de la paroi vers le pied de parois. Crèdit photo : Inconnu*

*Photo 1-12 Traces de moisissure provoquées par l'humidité de l'isolant par condensation due a un pont thermique à l'angle. Crèdit photo : Inconnu*

rentrer de l'air humide qui viendra se condenser dans l'isolant, cette condensation va produire deux effets préjudiciables au bâtiment, d'une part une perte nette de la capacité de isolation de l'enveloppe, et une deuxième est la stagnation de l'eau dans l'enveloppe ce qui peut créer l'apparitions de bactéries nocives pour la santé des usagers, rendant le bâtiment impropre a l'utilisation, Photos 1-10 à 1-12.

Dans cet objectif un écran pare-vapeur en surface chaude de l'isolant, la surface extérieure, est nécessaire. Toujours suivant les mêmes principes, nous déduisons qu'une ventilation et une grande perméabilité à la vapeur d'eau est très conseillée en surface intérieure de l'isolant.

## 1-3-3- La notion de confort thermique : la température ressentie

La notion de confort thermique est le plus souvent appliquée à l'être humain, bien qu'elle puisse s'appliquer à tout être vivant. En effet, la vie n'est possible que dans une certaine plage de température, qui varie d'une espèce à l'autre. Il existe cependant des conditions d'ambiance optimales qui seront ressenties par l'individu qui représentent un état de confort thermique.

Sur un plan physique, le confort thermique correspond à un état d'équilibre thermique entre le corps humain et les conditions d'ambiance. Le confort dépend de la sensibilité, de l'habillement, du métabolisme et de l'activité physique de chaque individu, d'une part, mais aussi de la température de l'environnement (air, parois), des mouvements d'air, et de l'humidité, d'autre part. Au-delà d'un certain niveau de déséquilibre, l'individu va ressentir de l'inconfort, notamment parce qu'il va devoir réagir pour réduire ce déséquilibre. Selon Givoni ( Givoni-1981) les conditions d'ambiance correspondant

à une zone de confort hygrométrique  sont les conditions pour lesquelles les mécanismes d'autorégulation sont à un niveau d'activité minimale. Les êtres humains sont capables de réguler leur température corporelle par des moyens physiologiques, ainsi le corps d'un individu va chercher à rétablir l'équilibre par différentes réactions demandant un certain effort, des réactions comportementales et des réactions physiologiques : la thermorégulation comportementale comprend le changement de posture, d'activité, de vêtement..etc. La thermorégulation physiologique, accessible uniquement aux êtres homéotherme, comme nous les humains, comprend notamment frissons, transpiration, vasodilatation, vasoconstriction, etc.

La chaleur métabolique produite dans le corps peut être stockée dans celui-ci, induisant une élévation de la température interne, ou dissipée dans l'environnement à travers la surface cutanée et par voie respiratoire sous forme de chaleur sensible et latente. La convection, le rayonnement et la conduction sont les trois modes d'échange de chaleur sensible à la surface cutanée. Ces modes d'échange sont complétés par l'évaporation de la sueur  qui absorbe de la chaleur latente du corps en passant de liquide au gaz. La respiration dissipe la chaleur du corps par convection,chaleur sensible, et par évaporation, chaleur latente. Selon ASHRAE (2009) le bilan thermique du corps s'écrit de la façon suivante :

*S [w/m2 ]= M – Wk - Esk –Er - C – R - Ck*

*Où,*
*M : taux de métabolisme*
*Wk : Travail externe*
*Esk : le flux de chaleur latente échangé par la peau*
*Er : le flux de chaleur latente échangé par la respiration*
*C : le flux de chaleur sensible échangé par convection à la surface de la peau*
*R : le flux de chaleur sensible échangé par rayonnement à la surface de la peau*
*Ck : le flux de chaleur sensible échangé par conduction à la surface de la peau*

Nous observons qu'à part les apports métaboliques et la chaleur produit par un contexte externe, les échanges au repos sont : par évaporation, peau et respiration, propre aux êtres vivants, ils représentent 24% des échanges thermiques. Par chaleur sensible via la peau, commun à tous les objets présents dans l'habitat : murs, sols y compris nos corps. Ils représentent 71% des échanges thermiques.

Au vue de l'importance d'échanges par chaleur latente, il faut alors noter que le confort thermique doit être associé au confort hydrique sous le terme de confort hygrothermique, et nous verrons par la suite que finalement deux paramètres vont prendre une place importante dans la classification climatique : la température de l'air et l'humidité relative. L'adaptation du comportement de l'individu aux conditions d'ambiance tend donc à réduire l'inconfort, ce qui est aujourd'hui décrit par l'approche du «confort adaptatif».

Au niveau international les standards de confort sont définis selon les règles établies par des organismes internationaux. Nous distinguons deux grandes procédures pour l'évaluation du confort dans l'habitat : une approche analytique, et une adaptative. L'approche analytique traite le confort thermique a travers le calcul du bilan thermique du corps humain. Les travaux de Fanger et al. (1985) ont permis de mettre en place la norme ISO 7730. La méthode de Fanger consiste à déterminer l'indice PMV, predictif mean vote, qui détermine le vote moyen de sensation thermique d'un groupe d'individus, entre -3 (très froid) et +3 (très chaud) et que nous aborderons plus loin.

L'approche adaptative est basée sur une approche comportementale qui caractérise la capacité adaptative de l'occupant pour obtenir un niveau de confort attendu. Il assume que si ils existent des éléments qui génèrent l'inconfort, alors les utilisateurs changeront une part de leur comportement et agirons de façon à restaurer leur confort. Ces actions peuvent être de réduire ou enlever une partie des vêtements, réduire le niveau d'activité physique ou ouvrir des fenêtres en cherchant des courants transversaux. Suite au travail de Richard De Dear en 1998, avec plus de 21000 observations dans 160 bâtiments, il a été observé que la plage de confort pouvait être augmentée de façon considérable, et notamment dans des bâtiments soumis à la ventilation naturelle. Ceci est intéressant car si il y a des solutions basées sur la ventilation transversale, nous pouvons être surs qu'elles seront d'autant plus pertinentes que la plage de confort pourra être étendue et donc ne pas être de solutions limites mais relativement confortables.

Nous avons vu que le confort ressenti à l'intérieur d'un logement dépend de multitude de valeurs, physiologiques et psychologiques, et donc avec des valeurs mesurables égales, les sensations de confort varieront d'une personne à d'autre. Ceci dit, nous avons besoin de connaître les indicateurs objectifs qui servent a déterminer un seuil de confort et donc sa variation peut avoir une influence dans la consommation énergétique d'une maison. Les magnitudes physiques mesurables dans le confort intérieur d'une maison les plus significatives sont:

-La température de l'air ambiant, ou température du bulbe sec (Tdb)
-La température du bulbe humide (Twb)
-La température radiative des parois environnantes (Tr)
-L'humidité relative (HR)
-Point de rosée (Td)

-La vitesse de l'air (V)

Ces magnitudes scalaires facilement mesurables peuvent se combiner pour déterminer les valeurs de confort à prendre en compte pour analyser la consommation une maison. Les combinaisons entre elles donnent une série d'indicateurs de confort physique :

### 1-3-3-1- Température Opérative : To=F(Tdb,Tr)

Si nous prenons la formule simplifiée pour l'intérieur d'un logement, il s'agit d'une température résultante de la moyenne arithmétique entre la température de l'air du bulbe sec (convection) et la température radiante moyenne autour d'une pièce. C'est-ce qui se passe dans des maisons à forte inertie thermique, où même si la température de l'air monte pendant la journée, si les murs sont encore frais, la température ressentie par notre corps sans le vent est plus basse que celle que nous aurions avec des murs plus chauds. La formule simplifiée de la température opérative est :

$$To = (Tdb+Tr) / 2$$

*avec :*
*Tdb: Température du bulb sec (ºC)*
*Tr: température radiative (ºC)*

### 1-3-3-2- Indice de Chaleur ( Heat Index) : F(Tdb,HR)

Utilisé depuis 1978 par le gouvernement américain, il sert à établir une température ressentie en fonction de la température réelle de l'air ambiant et l'humidité relative, dans des zones ombragées, pour tenter de déterminer la perception de la température que ressent le corps humain, c'est à dire de combien il ressentirait la chaleur si l'hygrométrie était à une autre valeur à l'ombre. La valeur de l'humidité relative de référence varie en fonction des températures (Figure 1-26) : pour des températures moyennes jusqu'au 33ºC elle est proche de 40% et au fur et à mesure qu'elles montent, de 33ºC à 43ºC, l'humidité de référence descend. Une température d'index de chaleur de 32°C a une humidité relative implicite de 38%, tandis qu'une température ressentie comme 41ºC a implicite une humidité relative de 20%. Les coefficients semblent issues d'une approximation du type série de polynômes de Fourrier. Les formules sont exprimes en ºF :

$$HI = c1+c2 \times T + c3 \times R + c4 \times T \times R + c5 \times T^2 + c6 \times R^2 + c7 \times T^2 \times R + c8 \times T \times R^2 + c9 \times T^2 \times R^2$$

*avec :*
*HI: Heat index ( ºF)*
*T: température de l'air, Tdb, (ºF)*
*R: Humidité relative (HR)*
$c1 = -42,379$
$c2 = +2,049$
$c3 = +10,143$
$c4 = -0,2247$
$c5 = -6,837 \times 10^{-3}$
$c6 = -5,481 \times 10^{-2}$
$c7 = 1,228 \times 10^{-3}$
$c8 = 8,528 \times 10^{-4}$
$c9 = -1,99 \times 10^{-6}$

### 1-3-3-3- Tableau Humidex : F(Tdb,Td)

Ce tableau (Figure 1-27) utilisé par le gouvernement canadien dans les procédures officielles de sécurité dans les conditions de travail avec risque de surchauffe propose, en fonction de une température et d'un dégrée d'humidité, un indice est une valeur adimensionelle qui est proche de la température ressentie mais il est trompeur car souvent confondu avec une température équivalente La formule est plus simple que le Heat Index, mais il est adimensionel avec seule vocation d'être assimilé à une température ressentie.

### 1-3-3-4- Refroidissement Éolien: Tro=F(Tdb,V)

Si nous voulons intégrer les effets du vent sur notre corps, en climat froid nous pouvons utiliser la notion de Température ressentie ou Refroidissement Éolien qui est un indice qui tient compte de l'impression physiologique de chaud ou de froid ressentie par le corps humain, selon des valeurs combinées de température, et de mouvement de l'air. Elle est calculée à l'aide de formules mathématiques empiriques qui comparent les conditions météorologiques rapportées avec la température qu'il faudrait atteindre à humidité normale et vent

| Relative humidity (%) | Temperature | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 80 °F (27 °C) | 82 °F (28 °C) | 84 °F (29 °C) | 86 °F (30 °C) | 88 °F (31 °C) | 90 °F (32 °C) | 92 °F (33 °C) | 94 °F (34 °C) | 96 °F (36 °C) | 98 °F (37 °C) | 100 °F (38 °C) | 102 °F (39 °C) | 104 °F (40 °C) | 106 °F (41 °C) | 108 °F (42 °C) | 110 °F (43 °C) |
| 40 | 80 °F (27 °C) | 81 °F (27 °C) | 83 °F (28 °C) | 85 °F (29 °C) | 88 °F (31 °C) | 91 °F (33 °C) | 94 °F (34 °C) | 97 °F (36 °C) | 101 °F (38 °C) | 105 °F (41 °C) | 109 °F (43 °C) | 114 °F (46 °C) | 119 °F (48 °C) | 124 °F (51 °C) | 130 °F (54 °C) | 136 °F (58 °C) |
| 45 | 80 °F (27 °C) | 82 °F (28 °C) | 84 °F (29 °C) | 87 °F (31 °C) | 89 °F (32 °C) | 93 °F (34 °C) | 96 °F (36 °C) | 100 °F (38 °C) | 104 °F (40 °C) | 109 °F (43 °C) | 114 °F (46 °C) | 119 °F (48 °C) | 124 °F (51 °C) | 130 °F (54 °C) | 137 °F (58 °C) | |
| 50 | 81 °F (27 °C) | 83 °F (28 °C) | 85 °F (29 °C) | 88 °F (31 °C) | 91 °F (33 °C) | 95 °F (35 °C) | 99 °F (37 °C) | 103 °F (39 °C) | 108 °F (42 °C) | 113 °F (45 °C) | 118 °F (48 °C) | 124 °F (51 °C) | 131 °F (55 °C) | 137 °F (58 °C) | | |
| 55 | 81 °F (27 °C) | 84 °F (29 °C) | 86 °F (30 °C) | 89 °F (32 °C) | 93 °F (34 °C) | 97 °F (36 °C) | 101 °F (38 °C) | 106 °F (41 °C) | 112 °F (44 °C) | 117 °F (47 °C) | 124 °F (51 °C) | 130 °F (54 °C) | 137 °F (58 °C) | | | |
| 60 | 82 °F (28 °C) | 84 °F (29 °C) | 88 °F (31 °C) | 91 °F (33 °C) | 95 °F (35 °C) | 100 °F (38 °C) | 105 °F (41 °C) | 110 °F (43 °C) | 116 °F (47 °C) | 123 °F (51 °C) | 129 °F (54 °C) | 137 °F (58 °C) | | | | |
| 65 | 82 °F (28 °C) | 85 °F (29 °C) | 89 °F (32 °C) | 93 °F (34 °C) | 98 °F (37 °C) | 103 °F (39 °C) | 108 °F (42 °C) | 114 °F (46 °C) | 121 °F (49 °C) | 128 °F (53 °C) | 136 °F (58 °C) | | | | | |
| 70 | 83 °F (28 °C) | 86 °F (30 °C) | 90 °F (32 °C) | 95 °F (35 °C) | 100 °F (38 °C) | 105 °F (41 °C) | 112 °F (44 °C) | 119 °F (48 °C) | 126 °F (52 °C) | 134 °F (57 °C) | | | | | | |
| 75 | 84 °F (29 °C) | 88 °F (31 °C) | 92 °F (33 °C) | 97 °F (36 °C) | 103 °F (39 °C) | 109 °F (43 °C) | 116 °F (47 °C) | 124 °F (51 °C) | 132 °F (56 °C) | | | | | | | |
| 80 | 84 °F (29 °C) | 89 °F (32 °C) | 94 °F (34 °C) | 100 °F (38 °C) | 106 °F (41 °C) | 113 °F (45 °C) | 121 °F (49 °C) | 129 °F (54 °C) | | | | | | | | |
| 85 | 85 °F (29 °C) | 90 °F (32 °C) | 96 °F (36 °C) | 102 °F (39 °C) | 110 °F (43 °C) | 117 °F (47 °C) | 126 °F (52 °C) | 135 °F (57 °C) | | | | | | | | |
| 90 | 86 °F (30 °C) | 91 °F (33 °C) | 98 °F (37 °C) | 105 °F (41 °C) | 113 °F (45 °C) | 122 °F (50 °C) | 131 °F (55 °C) | | | | | | | | | |
| 95 | 86 °F (30 °C) | 93 °F (34 °C) | 100 °F (38 °C) | 108 °F (42 °C) | 117 °F (47 °C) | 127 °F (53 °C) | | | | | | | | | | |
| 100 | 87 °F (31 °C) | 95 °F (35 °C) | 103 °F (39 °C) | 112 °F (44 °C) | 121 °F (49 °C) | 132 °F (56 °C) | | | | | | | | | | |

Caution
Extreme caution
Danger
Extreme danger

*Figure 1-26 Tableau des équivalences de l'Indice de Chaleur (HI) entre température de l'air sec et de l'humidité relative (HR%) . Source: American National Weather Service*

**Relative Humidity (%)**

| Temperature (°C) | 100% | 95% | 90% | 85% | 80% | 75% | 70% | 65% | 60% | 55% | 50% | 45% | 40% | 35% | 30% | 25% | 20% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 21°C | 29 | 29 | 28 | 27 | 27 | 26 | 26 | 24 | 24 | 23 | 23 | 22 | | | | | |
| 22°C | 31 | 29 | 29 | 28 | 28 | 27 | 26 | 26 | 24 | 24 | 23 | 23 | | | | | |
| 23°C | 33 | 32 | 32 | 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | | | | |
| 24°C | 35 | 34 | 33 | 33 | 32 | 31 | 30 | 29 | 28 | 28 | 27 | 26 | 26 | 25 | | | |
| 25°C | 37 | 36 | 35 | 34 | 33 | 33 | 32 | 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 27 | 26 | | | |
| 26°C | 39 | 38 | 37 | 36 | 35 | 34 | 33 | 32 | 31 | 31 | 29 | 28 | 28 | 27 | | | |
| 27°C | 41 | 40 | 39 | 38 | 37 | 36 | 35 | 34 | 33 | 32 | 31 | 30 | 29 | 28 | 28 | | |
| 28°C | 43 | 42 | 41 | 41 | 39 | 38 | 37 | 36 | 35 | 34 | 33 | 32 | 31 | 29 | 28 | | |
| 29°C | 46 | 45 | 44 | 43 | 42 | 41 | 39 | 38 | 37 | 36 | 34 | 33 | 32 | 31 | 30 | | |
| 30°C | 48 | 47 | 46 | 44 | 43 | 42 | 41 | 40 | 38 | 37 | 36 | 35 | 34 | 33 | 31 | 31 | |
| 31°C | 50 | 49 | 48 | 46 | 45 | 44 | 43 | 41 | 40 | 39 | 38 | 36 | 35 | 34 | 33 | 31 | |
| 32°C | 52 | 51 | 50 | 49 | 47 | 46 | 45 | 43 | 42 | 41 | 39 | 38 | 37 | 36 | 34 | 33 | |
| 33°C | 55 | 54 | 52 | 51 | 50 | 48 | 47 | 46 | 44 | 43 | 42 | 40 | 38 | 37 | 36 | 34 | |
| 34°C | 58 | 57 | 55 | 53 | 52 | 51 | 49 | 48 | 47 | 45 | 43 | 42 | 41 | 39 | 37 | 36 | |
| 35°C | | 58 | 57 | 56 | 54 | 52 | 51 | 49 | 48 | 47 | 45 | 43 | 42 | 41 | 38 | 37 | |
| 36°C | | | 58 | 57 | 56 | 54 | 53 | 51 | 50 | 48 | 47 | 45 | 43 | 42 | 40 | 38 | |
| 37°C | | | | | 58 | 57 | 55 | 53 | 51 | 50 | 49 | 47 | 45 | 43 | 42 | 40 | |
| 38°C | | | | | | | 57 | 56 | 54 | 52 | 51 | 49 | 47 | 46 | 43 | 42 | 40 |
| 39°C | | | | | | | | | 56 | 54 | 53 | 51 | 49 | 47 | 45 | 43 | 41 |
| 40°C | | | | | | | | | | 57 | 54 | 52 | 51 | 49 | 47 | 44 | 43 |

| Humidex | Degree of Discomfort |
|---|---|
| 20 - 29 | No discomfort |
| 30 - 39 | Some discomfort |
| 40 - 45 | Great discomfort; avoid exertion |
| 46 + | Dangerous; possible heat stroke |

*Figure 1-27 Tableau HUMIDEX mettant en rapport deux parametres de confort (TºC et HR) et le transforme en une temperature ressentie à une humidité confortable de 40%. Source: Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail - Gouvernement du Canada*

calme pour que le corps ressente la même impression. Cette valeur a été développée par les pays aux climats davantage froids comme les États Unis et le Canada. Les formules sont les suivantes, (Figure 1-28) :

*Tro = 13,12+0,6215xTa+(0,3965 Ta - 11,37) x Vkm/h*
*pour des vents de 4,8km/h à 177km/h et des températures de -50ºC à +10ºC*

*Tro = Ta+ 0,2 x (0,1345 Ta - 1,59) x Vkm/h*
*pour des vents de 0 à 4,8km/h et des températures de -50ºC à +10ºC*

Cette notion de refroidissement éolien ou «windchill» est très répandue comme température de référence dans les hivers nord-américains, mais elle n'est pas applicable aux climats chauds. Par contre nous aurons dans les climats chauds, la présence de courants d'air intérieurs peuvent par effet de l'évapotranspiration de la peau. Pour les températures de locaux comprises entre 21 et 24°C, un déplacement d'air à la vitesse de 0,5 à 1 m/s donne une sensation rafraîchissante confortable à des personnes assises n'ayant que de faibles activités. Mais lorsqu'on fournit un travail musculaire dans des endroits chauds, des vitesses d'air de 1,25 à 2,5 m/s sont nécessaires pour apporter un soulagement. On produit parfois des vitesses plus élevées lorsque des hommes sont soumis pour de courtes périodes à une chaleur rayonnante intense. Ce mouvement d'air sera obtenu à l'aide de ventilateurs ( Guide pratique de ventilation - LEVARACK 1969). L'effet rafraîchissant ressenti peut être exprimé en fonction de la diminution de la température de l'air qui donnerait le même effet rafraîchissant en air calme.

Dans les travaux de Stéphane SCHIAVON et de Arsen KRIKOR MELIKOV de l'université de Berkeley en 2009, il est proposé un indice d'efficacité des ventilateurs, ce qui montre le rapport entre la baisse de température dans le corps humain avec différents types de ventilateurs. Ils montrent que les variations de températures moyennes dans le corps humain avec des ventilateurs étaient plus importantes avec des températures plus basses, 25ºC versus 30ºC dans l'étude, ce qui est prévisible car plus la température de l'air s'éloigne de la température du corps humain plus son effet refroidissement sera important. Ainsi un ventilateur sera plus efficace avec une température ambiante de 25ºC que de 30ºC , la variation de température produite par les ventilateurs varie entre les -0,6ºC et les -2.5ºC (Figure 1-30).

## 1-3-3-5- Température du bulbe humide (Twb)

Aussi appelée température à saturation, la Twb est la température indiquée par un thermomètre dit «à

| Vitesse du vent | | | Température de l'air ambiant (°C), mesurée sous abri du vent, du soleil et des intempéries | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (km/h) | (m/s) | (MPH) | +10,0 | +5,0 | −0,0 | −5,0 | −10,0 | −15,0 | −20,0 | −25,0 | −30,0 | −35,0 | −40,0 | −45,0 | −50,0 |
| 0,0 | 0,0 | 0,0 | +10,0 | +5,0 | −0,0 | −5,0 | −10,0 | −15,0 | −20,0 | −25,0 | −30,0 | −35,0 | −40,0 | −45,0 | −50,0 |
| 5,0 | 1,4 | 3,1 | +9,8 | +4,1 | −1,6 | −7,3 | −12,9 | −18,6 | −24,3 | −30,0 | −35,6 | −41,3 | −47,0 | −52,6 | −58,3 |
| 10,0 | 2,8 | 6,2 | +8,6 | +2,7 | −3,3 | −9,3 | −15,3 | −21,2 | −27,2 | −33,2 | −39,2 | −45,1 | −51,1 | −57,1 | −63,0 |
| 15,0 | 4,2 | 9,3 | +7,9 | +1,7 | −4,4 | −10,6 | −16,7 | −22,9 | −29,1 | −35,2 | −41,4 | −47,6 | −53,7 | −59,9 | −66,1 |
| 20,0 | 5,6 | 12,4 | +7,4 | +1,1 | −5,2 | −11,6 | −17,9 | −24,2 | −30,5 | −36,8 | −43,1 | −49,4 | −55,7 | −62,0 | −68,3 |

*Figure 1-28 Valeurs du refroidissement eolien «WIndchill facteur» : Influence de la vitesse de l'air sur la température ressentie.*
*Source: Wikipedia*

| Force du vent à l'échelle Beaufort n° | Nature du vent | Vitesse de l'air [m/s] | Refroidissement équivalent [°C] |
|---|---|---|---|
| 0 | Calme | 0,1 | 0 |
| | | 0,3 | 1 |
| | | 0,7 | 2 |
| | | 1 | 3 |
| 1 | Air léger | 1,6 | 4 |
| | | 2,2 | 5 |
| 2 | Brise légère | 3 | 6 |
| 3 | Brise douce | 4,5 | 7 |
| 4 | Brise modérée | 6,5 | 8 |

*Figure 1-29 Influence de l'air à basse vitesse sur la température ressentie.*
*Source: Woods*

bulbe humide», ou psychromètre. Avant l'arrivée des appareils de mesure électroniques, il permettait de mesurer le taux d'humidité d'un local. Le procédé est le suivant : deux thermomètres sont soumis à un flux d'air forcé. Le premier indique la température de l'air ambiante. Le deuxième est entouré d'ouate humide. L'air qui entre dans l'ouate s'humidifie. Il se refroidit également puisque l'eau s'évapore et prélève la chaleur de vaporisation nécessaire dans l'air. En bonne approximation, sur le diagramme de l'air humide, l'air suit une iso-enthalpie et atteint la saturation. Connaissant la température à la saturation et la température normale, on peut déduire le taux d'humidité relative de l'air sur le diagramme. Dans notre cas, nous n'avons pas besoin de calculer l'humidité mais de déterminer un paramètre qui puisse évaluer le confort de l'utilisateur et qui, en fonction de sa valeur, déclenche en lui un besoin d'activer des moyens de refroidissement ou de dés-humidification actifs. La température humide est un paramètre très indiqué pour déterminer le confort thermique à l'intérieur d'une

| Type of Fan | Speed Level | Room Air Temperature | | Cooling Effect ($\Delta t_{eq}$) | | Fan Power, W ($P_f$) | Cooling-Fan Efficiency (CFE) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | °C | °F | °C | °F | | °C/W | °F/W |
| CF | 1 | 25 | 77 | –2 | –3.6 | 38.7 | 0.051 | 0.092 |
| CF | 2 | 25 | 77 | –3.2 | –5.8 | 40.2 | 0.079 | 0.142 |
| CF | 3 | 25 | 77 | –2.9 | –5.2 | 46.8 | 0.062 | 0.112 |
| CF | 1 | 27 | 80.6 | –0.9 | –1.6 | 38.7 | 0.023 | 0.041 |
| CF | 2 | 27 | 80.6 | –2.3 | –4.1 | 39.8 | 0.057 | 0.103 |
| CF | 3 | 27 | 80.6 | –2 | –3.6 | 44.9 | 0.045 | 0.081 |
| CF | 1 | 30 | 86 | –0.7 | –1.3 | 37.2 | 0.02 | 0.036 |
| CF | 2 | 30 | 86 | –0.7 | –1.3 | 38.8 | 0.018 | 0.032 |
| CF | 3 | 30 | 86 | –1.1 | –2.0 | 47.6 | 0.022 | 0.040 |

*Figure 1-30 Influence de la vitesse de l'air sur la variation de la température superficielle d'un mannequin thermique.*
*Source: SCHIAVON et KRIKOR 2009- ASHRAE*

maison, puisqu'elle détermine la capacité d'un corps qui transforme de l'eau liquide en gazeuse à se refroidir tout en tenant en compte de la vitesse de l'air à l'intérieur, car plus l'humidité autour de bulbe humide est évacuée, plus la température peut à nouveau descendre. Ainsi une température du bulbe humide donnée signifie que peu importe le couple (humidité, température) environnant, le corps mouillé, comme nous, les êtres humains, quand transpirons, ne peuvent aspirer à aller en dessous de la température du bulbe humide qui marque le seuil bas de réfrigération par évapotranspiration à cause de l'humidité ambiante et de l'éventuelle courant d'air. Si cette température est haute il n'y a aucune possibilité de se refroidir par des moyens d'évapotranspiration. Si elle est basse ( même avec une température ambiante élevée mais une humidité relative basse) alors même si la température de l'air semble importante nous n'aurons pas besoin ni envie d'activer les moyens de refroidissement actif comme la climatisation.

La limite de confort de la température de bulbe humide, est relativement basse. Une température bh de 26ºC sera inconfortable pour quelqu'un qui est à l'extérieur à l'ombre, ou à l'intérieur. ASHRAE et CIBSE ne conseillent pas d'utiliser des moyens de refroidissement par évapotranspiration avec des températures de bulbe humide au-dessus de 21ºC.

### 1-3-3-6- Predictif mean vote, PMV, et Predicted Percentage of Dissatisfied, PPD, (Tdb, Tr, HR, V)

L'indice PMV (Predicted Mean Vote), Figure 1-31, prédit la valeur moyenne des votes d'un grand groupe de personnes sur l'échelle de sensation thermique aux 7 points suivants : température de l'air, température radiative, humidité relative, vitesse du vent, vêtements, métabolisme.

L'indice PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) prédit quantitativement le pourcentage de personnes insatisfaites, car trouvant l'ambiance thermique trop chaude ou trop froide et qui voteraient -3, -2, +2, +3. La figure ci-dessous donne la correspondance entre les indices PMV et PPD :

On constate que dans la situation optimale (PMV = 0, ni chaud ni froid), le taux d'insatisfaction est de 5% parmi des personnes connaissant les mêmes conditions thermiques, métaboliques et vestimentaires; le taux d'insatisfaction augmente de la même manière si le PMV s'écarte de 0 vers le froid et vers le chaud. Pour obtenir une situation de confort thermique, il est recommandé que le PPD soit inférieur à 10%, ce qui correspond à un PMV compris entre -0,5 et +0,5. Si nous nous intéressons à la basse consommation, elle sera en fonction

Échelle PMV

+3 très chaud
+2 chaud
+1 légèrement chaud
0 ni chaud, ni froid
-1 légèrement froid
-2 froid
-3 très froid

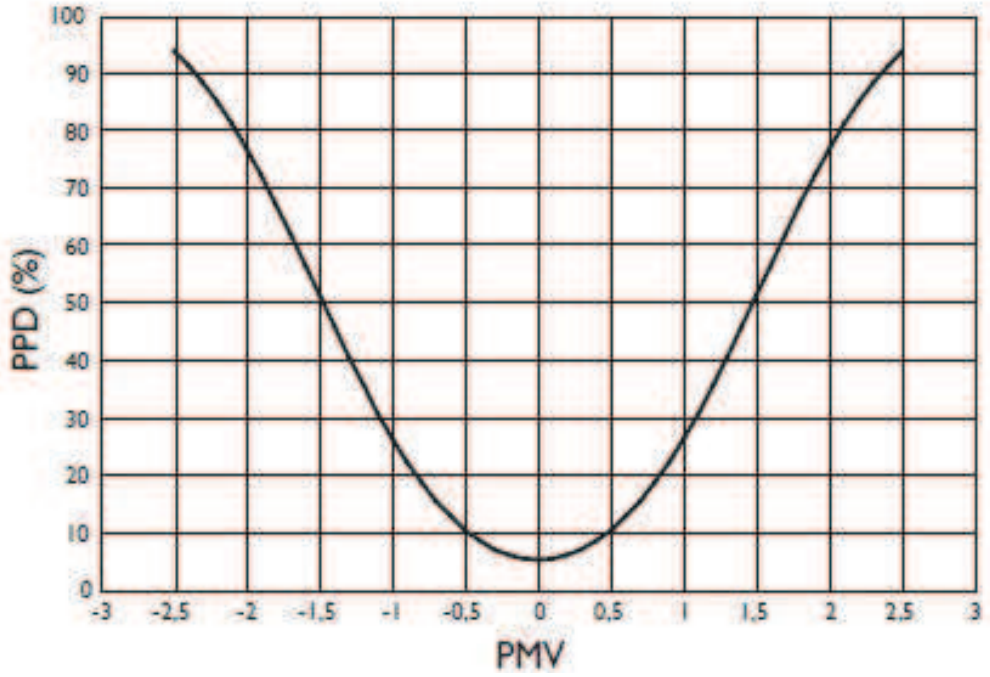



*Figure 1-31 Correspondance entre les indices PMV et PPD*

du confort recherché à l'intérieur d'une maison. Ce confort aujourd'hui n'est plus mesuré par des paramètres de température et humidité mais par les formules utilisant le PMV-PPD. Cette formule est couramment utilisée pour le dimensionnement de solutions architecturales et techniques visant le confort thermique des bâtiments. Comme nous l'avons déjà évoqué auparavant, dans des bâtiments avec ventilation transversale naturelle the PMV est beaucoup plus tolérant (DE DEAR Richard J., SCHILLER BRAGER Gail -1998). Cela signifie que les personnes utilisant la ventilation transversale naturelle dans un bâtiment supportent mieux les hautes températures que celles qui sont dans des espaces sous ventilation mécanique.

## 1-3-4- La transmission de la chaleur dans les bâtiments

Les trois processus fondamentaux de transmission de la chaleur entre les milieux extérieurs, intérieurs et finalement le corps humain sont la conduction, la convection et le rayonnement.

### 1-3-4-1 La conduction

Elle représente la transmission de la chaleur à travers un corps molécule à molécule. Ceci est le moyen par lequel la chaleur circule de proche en proche par un matériau ou passe d'un corps à l'autre par contact physique direct. Le flux de chaleur va toujours des zones chaudes vers les zones froides. Lorsque ces molécules sont chauffées à la surface par le soleil, elles transmettent cette chaleur aux molécules voisines qui font de même avec les suivantes, constituant une vague de chaleur qui a tendance a homogénéiser les températures de la paroi si les conditions extérieures sont constantes. Cette onde de chaleur avance au sein de la paroi et détermine ce que nous appelons couramment le temps de déphasage thermique de la paroi. Puisque les conditions extérieures changent et que les températures et le rayonnement extérieur varient au long de la journée, cette onde de chaleur est aussi variable avec une forme sinusoïdale dont ses pics hauts et bas traversent le mur avec un décalage horaire équivalent au temps de déphasage thermique de la paroi. Deux phénomènes se retrouvent dans ce processus de transmission, un est le décalage horaire décrit précédemment, qui peut être très intéressant en fonction des températures jour/nuit car il peut faire rentrer la nuit de la chaleur de la journée et peut apporter pendant la journée la fraîcheur de la nuit. Le deuxième phénomène est celui de l'atténuation de l'onde de chaleur, qui lui dépend de la valeur de la conductivité thermique du mur, Lambda (W/mK), et qui limite le flux de chaleur en fonction de la conductivité du matériaux, moins il est conducteur plus le Lambda est important, et plus le flux de chaleur trouve de difficultés à le traverser ce qui fait diminuer l'amplitude de l'onde de chaleur. (CIBSE 2014)

### 1-3-4-2 La convection

Elle caractérise l'échange thermique entre un corps solide et un fluide voisin. Le phénomène est produit

par la vibration des molécules du corps solide au niveau de la surface en contact avec le fluide. Le fluide proche de la surface reçoit les vibrations des molécules du corps solide et augmente sa température, se dilate, il devient plus léger et monte créant des courants ascendants chauds. Le phénomène peut aussi s'inverser lorsque l'air chaud de l'intérieur d'un logement rentre en contact avec un mur froid, le fluide, l'air, transmet une part de son énergie par vibration au mur, le fluide se refroidit, s'alourdit et il crée un courant d'air frais descendant le long du mur. Ce phénomène est appelé convection naturelle. L'échange de chaleur entre le fluide et le corps solide, entre l'air du logement et les murs, est proportionnel à la différence de température entre les deux. Pour maximiser cet échange entre les deux milieux, il faut créer de courants d'air forcés qui déplacent en permanence le fluide du mur de telle façon que la différence de température entre les deux est maximale. Ce phénomène est appelé convection forcée. La convection régit aussi un phénomène important lié au confort dans les logements : le refroidissement de la peau par évapotranspiration et le réchauffement de l'air par la température des murs. Ce phénomène est fortement influencé par le mouvement de l'air et l'humidité ambiante (CIBSE 2014).

#### 1-3-4-3 Le rayonnement

A l'exception des ondes courtes du soleil associée à la lumière qui vient de très loin et produites à une très haute température, la plus grande part des ondes de rayonnement terrestre ont de grandes longueurs d'onde appartenant à l'infrarouge lointain émises à une température bien plus basse. Tous les corps rayonnent de l'énergie, suite au mouvement perpétuel des molécules situées en surface, et l'intensité du rayonnement dépend en partie de la température du corps qui rayonne. Puisque tous rayonnent, les flux nets de rayonnement entre deux corps sera la différence de la valeur du rayonnement de chacun d'entre eux. Le rayonnement est aussi responsable d'un phénomène que parfois nous rencontrons à l'intérieur de l'habitat, il s'agit de la radiation asymétrique. Ce phénomène arrive lorsque deux parois d'une pièce ont des températures radiantes différentes et donc les radiations vers le corps humain sont différentes ce qui se traduit par une température opérative asymétrique au sein d'une même chambre ce qui donne une sensation de paroi froide. Face à une telle situation le corps humain doit rééquilibrer les masses thermiques via la circulation du sang ou les muscles se traduisant en sensation de stress thermique et donc d'inconfort (CIBSE 2014).

#### 1-3-4-4 Importance de chaque phénomène à l'intérieur d'une maison

Des trois phénomènes, quel est le plus présent dans le bilan thermique d'une maison en climat chaud des trois phénomènes (CIBSE 2014) ? :

- la conduction représente 30 % de la chaleur ressentie et c'était le paramètre sur lequel les ingénieurs des systèmes de climatisation se concentrait traditionnellement.
- la convection, liée à l'evapotranspiration, est responsable de 25 %,
- la radiation régit 45 % devenant le premier responsable de la chaleur ressentie. Malgré son importance, grand nombre de systèmes mécaniques de confort la négligent car ils utilisent l'air comme vecteur de refroidissement et se fixent sur la température de l'air, et pas la température radiative. La radiation est alors un phénomène qui dépend de la température de la structure et de ses matériaux et donc il est en fort lien avec les mesures architecturales.

### 1-3-5- L'inertie thermique et son influence

La notion de inertie thermique est un élément important dans la conception de l'habitat passif en climat chaud, ceci n'est pas une nouveauté, cependant nous avons intérêt à faire analyser de plus près cette notion qui encore aujourd'hui est difficile à quantifier. La définition formelle est : «L'inertie thermique d'un matériau représente sa résistance au changement de température lorsque intervient une perturbation de son équilibre thermique» (CHAHWANE Layal 2012). Si la perturbation l'amène vers une nouvelle température d'équilibre, l'inertie thermique est mise en évidence par le temps au bout duquel ce nouveau point d'équilibre est atteint. Elle permet d'amortir les variations de température intérieure.

#### 1-3-5-1 Les unités

Les unités pour caractériser l'inertie de l'intérieur d'un logement ou de une maison ne sont pas très accessibles. Une grande partie de la littérature scientifique utilise la Constante de temps, associé à une paroi, et qui est la durée qui lui est nécessaire pour passer d'un état stable à un autre sous l'effet d'un changement instantané de la température (régime transitoire). Ce temps de réaction est proportionnel, en théorie, au carré de l'épaisseur et inversement proportionnel à la diffusivité, mais dans la réalité d'un ensemble de murs qui renferment un logement, la constante de temps sera aussi inversement proportionnel au volume enfermé par

les parois et la masse à l'intérieur. Dans un graphique où les ordonnées représentent le temps de stabilisation de la température d'une maison et les abscisses représentent la température à l'intérieur de la maison, la constante temps instantanée est obtenue par l'intersection entre l'axe des ordonnées, le temps, et la droite tangente à la courbe de réchauffement de la maison. La «Passivhaus» utilise dans son logiciel PHPP cette notion de constante de temps dans ses algorithmes même si le concepteur n'a pas accès directement. La seule valeur que la méthode «Passivhaus» demande pour évaluer l'effet de l'inertie est le nombre de parois lourdes dans la maison, et les unités sont Wh / $Km2_{sre}$, avec $m2_{sre}$ ce sont les mètres carrées de la surface de référence énergétique. Ils considèrent qu'une maison à faible inertie a environ 60 Wh / K $m2_{sre}$ et une à forte inertie 240 Wh / K $m2_{sre}$.

### 1-3-5-2 Quantification de l'inertie thermique

La question reste entière : comment quantifier l'inertie thermique d'un espace ? Afin de mieux comprendre la pénétration que fait la chaleur dans les matériaux de construction nous pouvons définir le temps de diffusion de la chaleur à l'intérieur d'un composant de bâtiment homogène. La relation entre l'épaisseur sollicitée et le temps de diffusion de la chaleur à l'intérieur d'un composant de bâtiment homogène se formule en faisant le produit de la capacité calorifique par la résistance thermique de ce composant :

$t = Q.R = (e.\rho c) . ( e \lambda )$
*avec*
$Q = e.\rho c$
$R = e / \lambda$
*e : épaisseur de la couche de la paroi*

Sur une période t donnée, la chaleur pénétrera davantage dans un matériau ayant une diffusivité plus importante. Par exemple, en supposant une durée d'ensoleillement sur un cycle journalier égale à 12 h, l'épaisseur caractéristique atteinte est de 18 cm pour le béton lourd, de 6.7 cm pour le bois lourd et de 21.6 cm pour le granite. Pour faire une valorisation de l'inertie thermique pour la performance énergétique des bâtiments de manière globale (CHAHWANE Layal 2012) propose la «méthode des admittances».

### 1-3-5-3 La constante de temps

La constante de temps du bâtiment représente le rapport entre la somme de l'énergie emmagasinée dans le bâtiment et la somme algébrique des flux transmis de l'intérieur vers l'extérieur pour un écart de température de 1◦C. Ainsi la constante de temps d'un bâtiment caractérise le temps de réponse de la température intérieure et son aptitude à résister aux perturbations externes.

Givoni [1994] a introduit le calcul de la constante de temps d'un bâtiment dérivant de l'analogie entre le flux de chaleur diffusé dans les matériaux de construction correspondant à un circuit «thermique» et la constante de temps d'un circuit électrique, comme étant un unique paramètre pouvant être utilisé pour évaluer la performance thermique d'un bâtiment. Elle est définie comme étant la chaleur emmagasinée dans une enceinte, y compris l'air intérieur, par unité de chaleur transmis vers ou depuis l'extérieur par la ventilation.

Si la capacité calorifique totale d'un seul élément, $Q_{element}$, en Wh/K équivaut au rapport de la sommes des tous les Q et R des différentes couches de l'élément $\Sigma(Q_i R_i)$ par sa résistance totale de la paroi $R_{total}$ :

$Q_{element} = SUM(QiRi) / Rtotal$

Alors la capacité calorifique totale du bâtiment (CTB) en J/K est définie comme étant la quantité d'énergie stockée par degré d'écart de température maintenue entre l'intérieur et l'extérieur. La quantité (CTB) est considérée comme la somme des capacités Qe des m éléments constituants le bâtiment et de la capacité calorifique de l'air intérieur :

$CTB = \Sigma m\ Qe + \rho a\ ca\ Vi$
*où*
*(ρa ca) : produit de la densité et de la capacité calorifique de l'air*
*Vi : volume de l'espace considéré.*

Elle représente la capacité a stocker. Si nous nous intéressons maintenant à la capacité du logement à transmettre vers l'extérieur, nous utiliserons le coefficient global de déperditions, plus couramment appelé Ubat. On exprime la constante de temps du bâtiment comme étant le rapport de la capacité calorifique du bâtiment CTB par le coefficient de déperdition global $U_{bat}$ ou autrement dit, du rapport de l'énergie stockée sur l'énergie perdue par les déperditions.

Dans l'expérience menée sur une maison individuelle (CHAHWANE Layal 2012) de la plate-forme d'expérimentation Plate-forme INCAS au Bourget-du-Lac, sur une maison à structure en Béton armé de

caractéristiques massiques lourdes avec isolation par l'extérieur. L'ensemble des composants de la maison a été optimisé de manière à limiter les besoins autour de 15 kWh/(m2an) de manière à faciliter la compensation des consommations énergétiques par l'intermédiaire de la production solaire. Cette maison fut suivie pendant le mois de février alors qu'une chute de température se produisait : la maison descendit en température intérieure avec une constante de temps de 10.6 jours, et lorsque les températures remontèrent, elle gagna en température intérieur avec une constante de temps de 8.75 jours (Figure 1-32).

Cette valeur peut déjà constituer un notion d'inertie dans un logement, car il exprime une caractéristique propre à l'échelle du bâtiment, et tient compte des murs et du volume intérieur. Cependant elle continue à tenir compte de l'épaisseur total des murs alors que pour une période de 12h, comme on a vu, il y a juste une partie de l'épaisseur des murs intérieurs qui est sollicité.

En conclusion la constante de temps, τ, est la manière la plus efficace et scientifique de quantifier l'inertie thermique d'une maison. La comparaison de l'évolution de la température de deux maisons (CHAHWANE Layal 2012), une de τ=100h (construction d'inertie moyenne à légère) et une autre τ=800h (construction d'inertie très lourde) en fonction du renouvellement d'air intérieur, montre les effets de l'inertie a lisser la température intérieur. La Figure 1-33 montre le rapport existant entre constant de temps d'un logement et la variation de température en fonction de l'intensité de la ventilation d'un logement: plus l'inertie est importante, moins il y en a de variation de température, et plus le renouvellement d'air est important avec une même maison, plus varie la température à l'intérieur (CHAHWANE Layal 2012).

### 1-3-5-4 Capacité thermique apparente et capacité thermique effective

Afin de tenir compte de cette épaisseur, ANTONOPOULOS [2001] développe le concept de capacité thermique apparente et capacité thermique effective d'un bâtiment. La capacité apparente est la somme des capacités calorifiques des matériaux constituant l'enveloppe du bâtiment. La capacité effective est la part de la capacité apparente qui réellement contribue au stockage de la chaleur. L'auteur développe également une corrélation entre ces deux quantités, capacité thermique apparente et capacité thermique effective, pour différents types de bâtiments. Ultérieurement, il introduit le concept de capacité thermique surfacique intérieure correspondant à l'inertie thermique interne. Celle-ci représente la quantité d'énergie stockée dans l'air intérieur, les couches à la surface des parois et les meubles pour 1◦C d'écart entre la température intérieure et la température moyenne de l'enveloppe du bâtiment . Ce concept est repris par la «Passivhaus» institut afin de quantifier les effets de l'inertie.

### 1-3-5-5 La méthode de la «Passivhaus» institut pour évaluer l'inertie thermique

La ««Passivhaus» institut» utilise le paramètre introduit par Antonopoulos qui tient compte des parois accessibles dans un espace thermiquement isolé, cette donnée permet de considérer l'inertie du bâtiment par la prise en compte du nombre de surfaces massives qui délimitent un espace. La formule, très simplifiée, de la capacité thermique surfacique est :

*CTS= 60+n*24 [Wh/m2K ]*

*Avec :*
*n : nombre de surfaces massives qui délimitent un espace*
*Par « surfaces massives » la «Passivhaus» les définit comme : « Les éléments de construction sont considérés comme massifs*

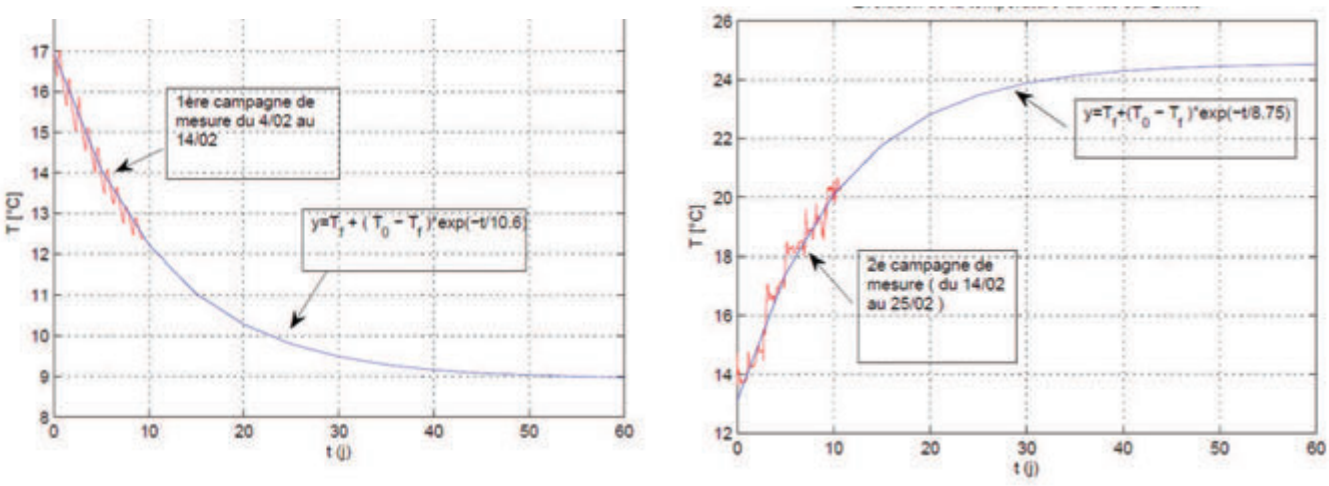



*Figure 1-32 Comportement de décharge et recharge thermique d'une maison et son rapport avec la constante de temps.*
*Source et crédit: CHAHWANE Layal 2012*

*si leur masse est d'au moins 100 kg/m², déterminé en partant de l'intérieur jusqu'à une lame d'air ou une couche à conductivité thermique λ inférieure à 0,20 W/(mK). »*

A titre d'exemple, une maison de 2 chambres et un séjour avec un mur lourd par espace de vie, donc 3 murs, et un plancher par espace, donc 3 planchers, alors n=6 et CTS= 60+6*24 =204 Wh/m2K

Les valeurs caractérisent les constructions selon le PHPP pour simplifier la caracterisation sont :
Construction légère : 60 Wh/m2K
Construction mi-lourde : 132 Wh/m2K
Construction lourde : 204 Wh/m2K

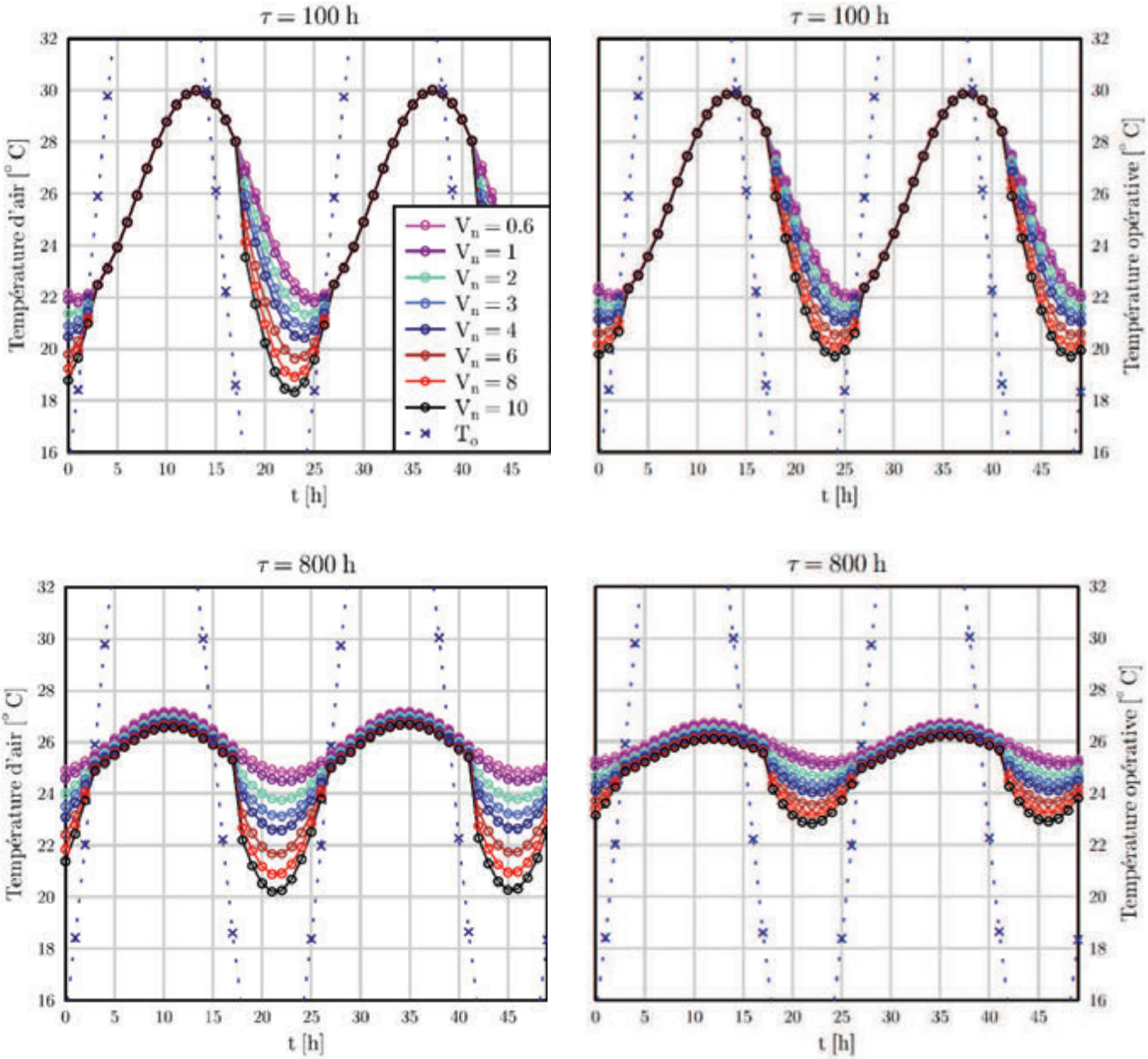



*Figure 1-33 Comportement de deux maisons différentes, faible inertie thermique (T=100) et forte inertie thermique (T=800) en fonction du renouvellement de l'air intérieur de 0,6 à 10 v/h. Crédit: CHAHWANE Layal 2012*

## 1-3-5-6 Paramètres de l'inertie thermique : la diffusivité et l'effusivité

La inertie thermique dépend de la diffusivité et de l'effusivité. La diffusivité détermine la vitesse de propagation de l'onde de chaleur. Plus la diffusivité est importante plus l'onde de chaleur avance vite au sein de la paroi. Les matériaux isolants ont une diffusivité basse alors que les matériaux structurants classiques, acier ou béton, ont une diffusivité plus élevée. Bien évidemment les métaux dépassent de beaucoup tous les autres matériaux. L'effusivité détermine la capacité d'accumulation de chaleur : un matériau accumulant beaucoup de chaleur doit avoir une conductivité élevée pour que la chaleur puisse facilement pénétrer, une chaleur spécifique et une masse volumique élevées pour pouvoir accumuler le maximum de chaleur. Elle est

directement en rapport avec le phénomène d'atténuation de l'onde de chaleur et la capacité à absorber et/ ou à restaurer la chaleur plus tard. Les matériaux isolants auront une basse effusivité, donc grande capacité d'atténuation de l'onde, et les matériaux lourds ou conducteurs, béton et acier, auront une grande effusivité, donc moins de capacité d'atténuation de l'onde lors de son passage par la paroi. La formule de la diffusivité (E) est :

$E = \sqrt{(\lambda * \rho * c)}$ *[ J.K-1.m-2.s-1/2]*

*avec,*
*ρ la masse volumique du matériau en [kg/m$^3$]*
*c la capacité thermique massique du matériau en [J./kgK]*
*λ la conductivité thermique du matériaux en [w/mK]*

Indépendamment de la nature de la matière, l'épaisseur de la paroi est le troisième facteur décisif, puisque les deux caractéristiques, sont associées aux caractéristiques physiques de la matière, l'épaisseur viendra accentuer les phénomènes. En climat très chaud, ces propriétés peuvent jouer des rôles différents, un premier rôle lorsque nous traitons de la chaleur extérieure qui impacte les murs opaques, et dans ce cas, nous chercherons à diminuer l'arrivée de la chaleur externe, avec une grande atténuation en favorisant un bon isolant. Seulement dans le cas où les nuits descendent à une température suffisamment basse, nous pouvons favoriser un déphasage de la température du mur qui permettra d'avoir des températures intérieures agréables pendant les nuits considérées comme «fraîches». Avec ce décalage, la fraîcheur de la nuit reviendra aussi sous forme d'onde pendant la journée et ainsi de suite. Par contre si la température extérieure n'est jamais trop basse, un déphasage ne sera jamais souhaitable.

Le deuxième rôle est celui d'absorber, et lisser la chaleur intérieure qui se produit par la pénétration de l'énergie à travers des vitrages et qui chauffe l'intérieur ainsi que celle produite à l'intérieur de l'habitat par l'activité humaine ou par l'électroménager. Pour favoriser cette absorption et restitution, nous chercherons à avoir la plus grande effusivité pour pouvoir absorber autant d'énergie que possible, et, au cas où la masse ne soit pas trop accessible, des matériaux a haute diffusivité pour solliciter au maximum la masse interne de l'habitat.

La capacité thermique, effusivité ou diffusivité, d'un matériau de construction peut être profondément modifiée par le revêtement qui le recouvre, dont la masse peut être négligeable, mais qui présente une résistance thermique élevée. Un vernis, ou une couche superficielle peut avoir une grande influence dans le phénomène d'inertie thermique.

## 1-3-6- Les caractéristiques des revêtements des surfaces

Nous devons faire la distinction entre deux phénomènes liés à la nature des revêtements des parois : une est la résistance de l'énergie à entrer ou sortir d'une paroi homogène et l'autre est lié a l'émissivité des parois opaques.

### 1-3-6-1 Résistances superficielles Rsi et Rse

La résistance des corps à la pénétration de l'onde de chaleur est appelle couramment Rsi (résistance superficielle intérieure) et Rse (résistance superficielle extérieure), en W/m2K,ce qui quantifie l'effort que l'onde de chaleur doit faire pour pénétrer une paroi homogène et les efforts qui doit faire pour la quitter vers l'intérieur de l'habitat. Ce phénomène se produit entre une paroi et l'air qui l'entoure à l'extérieur et à l'intérieur. Si nous avons une paroi qui est composé de plusieurs couches de matériaux, ce phénomène ne se manifeste que sur les couches extérieure et intérieure en contact avec l'air. En fonction de la position de la paroi, horizontale ou verticale, ces coefficients varient (Figure 1-34) :

*Rsi :*
*0,10 W/m2K, si le flux ascendant*
*0,13 W/m2K, si le flux horizontal*
*0,17 W/m2K, si le flux descendant*
*Rse :*
*0,04 W/m2K, contact avec l'air extérieur*
*0,00 W/m2K, contact avec le sol*

### 1-3-6-2 L'émissivité et reflectance solaire des parois opaques

L'émissivité des parois opaques est liée aux effets radiatifs de réflexion de l'onde de chaleur par les parois opaques, qui pourrait se révéler très intéressant en climat chaud, car une grande partie de l'énergie impactée sur les murs pourrait, ou pas, être rejetée à nouveau vers l'extérieur. L'émissivité mesure la capacité d'un corps à émettre du rayonnement thermique. Ainsi un corps qui est chargé en énergie thermique et donc à

une température quelconque, en fonction de l'émissivité sera capable de la transmettre plus ou moins bien. Un de 0.9, celle de la plupart des matériaux de construction, signifie que la surface du corps est capable d'émettre 90 % du rayonnement théorique maximale possible en fonction de sa température, et pour cette même raison, il est capable d'absorber 90% de ce rayonnement extérieur. Si nous réduisons l'émissivité du revêtement de façade, avec par exemple les surfaces métalliques finement polies pour les ondes solaire, nous pouvons obtenir des émissivités très basses, proches du 0,1. Ces surfaces absorberont très peu de chaleur par rayonnement pour une température donnée. Autrement dit, il réfléchira 90 % du rayonnement, avec la fréquence d'onde pour lesquelles il a une basse émissivité. Il faut aussi faire attention car pour les mêmes raisons ces surfaces seront plus difficilement déchargées de sa chaleur pendant les heures fraîches de la nuit. L'émissivité a aussi une influence dans le résistance thermique de la paroi: des matériaux à basse émissivité confèrent aux parois des résistances Rsi et Rse plus élevés.

La reflectance est la propriété qui détermine le pourcentage de rayonnement solaire reflété. Ainsi si tout le rayonnement est réfléchi, la réflectance sera de 100 %. Elle ne sera que de 50 % si la moitié seulement du rayonnement est réfléchi. Plus est élevée la reflectance moins de chaleur est absorbé par la surface. La figure 1-35 montre l'influence de la couleur de la peinture extérieure : blanc (haute reflectance) et gris (basse reflectance) dans la température intérieure d'une chambre (Givoni-1991). Le tableau que montre la figure 1-36 classifie les matériaux en fonction de sa reflectance et sa émissivité.

En conclusion les caractéristiques des matériaux idéaux en revêtement extérieur seraient :

En journée en climat chaud (carré jaune de la figure 1-36) :
reflectance rayonnement solaire haute et accessoirement émissivité basse au rayonnement infrarouge pour empêcher la recharge thermique par les radiations des corps périphériques

Pendant la nuit en climat chaud (carré bleu de la figure 1-36):
Émissivité au rayonnement infrarouge haute (pour faciliter la décharge)

## 1-3-7- L'infiltration d'air naturel dans les bâtiments

L'infiltration représente les entrées d'air par les fuites à travers l'enveloppe non voulues et non maîtrisées par le concepteur. Elle dépend de deux facteurs, la vitesse du vent extérieur et la température extérieure. Le vent pousse l'air à entrer dans la maison par les fissures, les jeux dans les menuiseries, les jonctions entre éléments ou matériaux, et crée une pression positive sur la partie au vent et une zone de pression négative dans la partie sous le vent. Dans une grande parties des villes assujetties à ce climat, les infiltrations seront

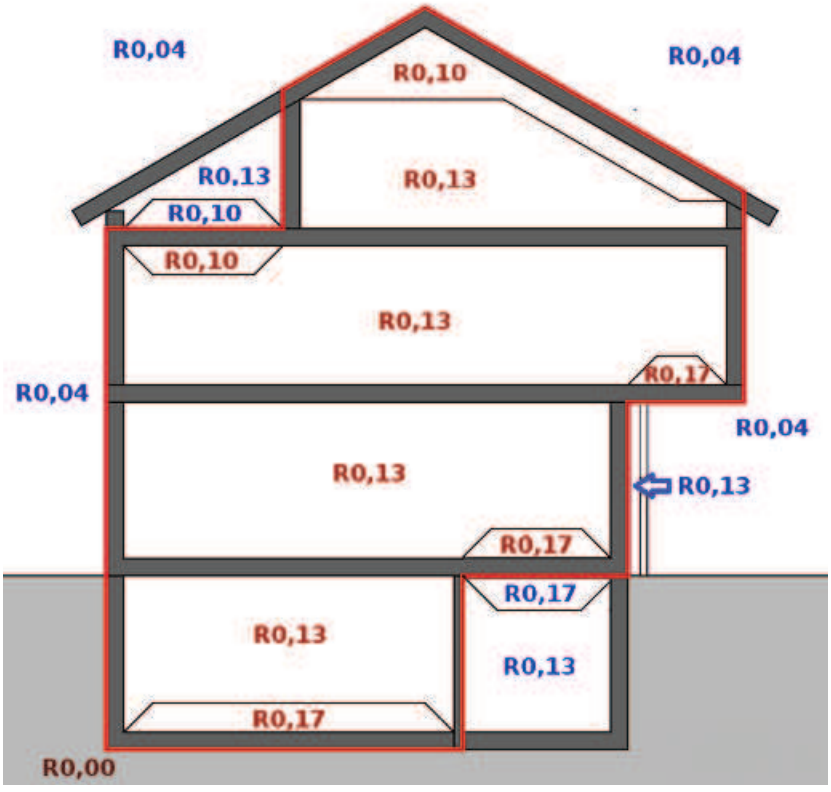



*Figure 1-34 Valeurs des résistances superficielles Rsi et Rse en fonction de la position de la paroi. Source: www.HTflux.com*

moindres que dans les bâtiments en climats européens (CIBSE 2014et CIBSE Guide B 2005b) par le fait que le bâtiment aura tendance à se dilater sous des conditions très chaudes et a se contracter sous les conditions les moins chaudes. Ainsi les fissures auront une tendance à se fermer davantage sous des conditions chaudes, qui est d'ailleurs le moment ou les infiltrations d'air sont le moins bienvenues. Ce phénomène est inversé en climat froid car les fissures sont au plus grand lorsqu'on s'approche de la fourchette basse de la température.

### 1-3-7-1 Les inconvénients associés aux infiltrations

Les inconvénients associés aux infiltrations d'air sont nombreux :

- l'inconfort dû aux courants d'air froids ou chauds : ce désagrément est prioritaire pour les occupants. Dans les bâtiments récents, relativement performants, ce sentiment d'inconfort est ressenti de manière encore plus vive par les occupants dont le degré de tolérance à ce genre de nuisance semble diminuer au fur et à mesure que le niveau de confort augmente.

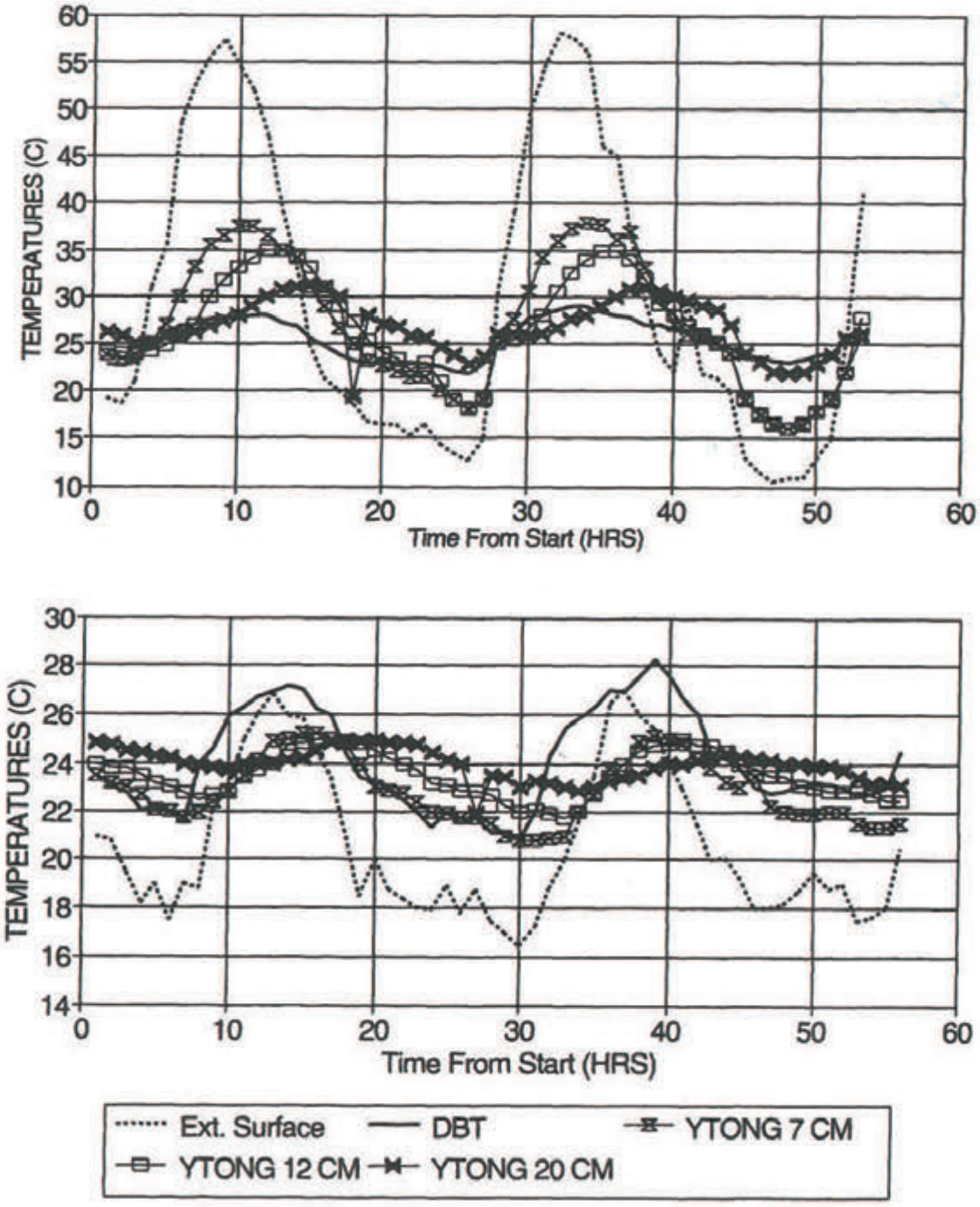



*Figure 1-35 Températures à l'intérieur des chambres construites en béton cellulaire de 7,12,et 20 cm avec une couleur extérieure grise ( graphique en haut) et blanche (graphique en bas). Les températures de la surface grise montent à 37°C pour la structure légère alors que elles restent à 25°C avec une peinture blanche extérieure.*
*Source: Baruch GIVONI-1994*

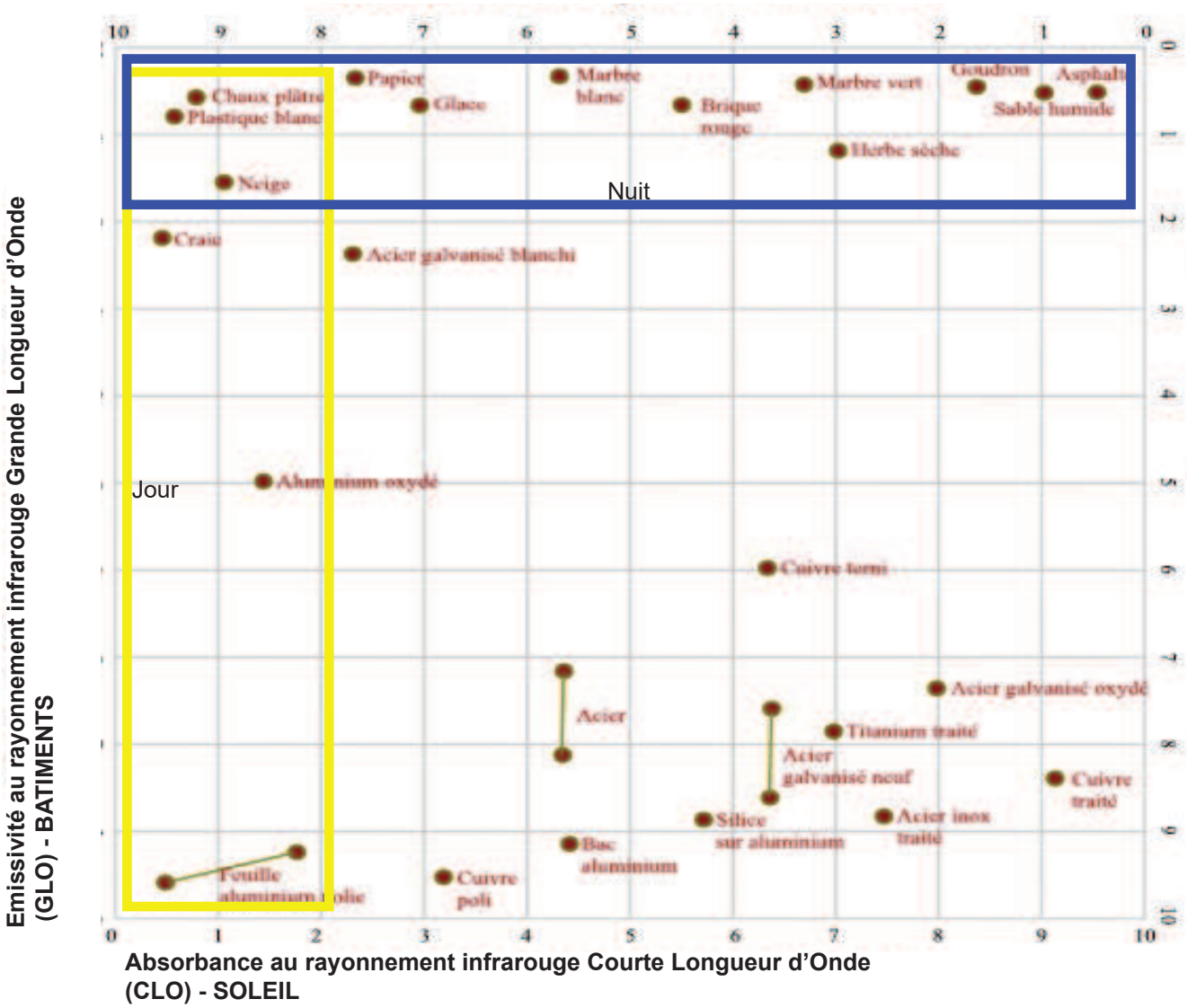



*Figure 1-36 Tableau des caractéristiques surfaciques des matériaux de façades selon son Émissivité (abscisses) et la capacité d'absorption du rayonnement infrarouge (ordonnées). Source: http://www.collecteurderosee.fr*

- les nuisances sonores : la qualité acoustique d'une paroi est très fortement altérée par un orifice aussi petit soit-il. Il s'ensuit que toutes les infiltrations constituent de petits ponts phoniques détériorant l'affaiblissement acoustique d'une paroi extérieure.
- la sur-consommation d'énergie : dans les bâtiments basse consommation, les infiltrations d'air peuvent augmenter sensiblement la consommation relative de chauffage ou de refroidissement en climat chaud, même si, du fait de leurs performances, cette sur-consommation aurait un impact limité sur la facture d'énergie globale.

### 1-3-7-2 Les sources d'entrée d'air

Les sources d'entrée d'air sont multiples et souvent un peu surprenantes. Les infiltrations d'air ne se produisent que lorsqu'il y a un peu de vent, sauf pour les bâtiments de grande hauteur où, en l'absence totale de vent, le tirage naturel, dû à l'effet cheminée, peut introduire des infiltrations d'air en partie basse et des exfiltrations en partie haute. Il faut également considérer que dans un bâtiment, les causes d'infiltration d'air en façade sont réparties de façon sensiblement homogène sur l'ensemble des parois du bâtiment. Elles peuvent apparaître de préférence dans :

- les parois extérieures ;
- les menuiseries extérieures elles-mêmes, et leur jonction avec les murs ;
- les seuils de porte ;
- la jonction des toitures et des murs, souvent très délicate à traiter ;
- les joints de dilatation ;
- les trappes d'accès aux combles ou à des gaines techniques non étanches ;
- la traversée de l'enveloppe étanche à l'air par des conduits de ventilation, fumées, etc. ;
- la traversée de l'enveloppe étanche à l'air par des éléments de structure ;
- les fourreaux des câbles électriques, principales sources de pénétration d'air dans les bâtiments

- les coffres de volets roulants ;
- les gaines d'ascenseur;

### 1-3-7-3 Les normes régissant l'étanchéité à l'air

En Europe, l'évaluation de l'étanchéité à l'air d'un bâtiment est régie par la norme européenne EN13829 et son guide d'application GA P50-784. qui décrit la procédure du test «blowdoor», le test à la porte soufflante, qui est aujourd'hui universellement utilisé pour repérer et quantifier les infiltrations d'air, en soumettant la maison à une différence de pression entre l'extérieur et l'intérieur de 50 Pa, elle mesure le débit d'air nécessaire à fournir pour maintenir cette différence de pression. Le débit d'air est mesuré en volume de maison par heure. Les normes européennes les plus exigeantes demandent aux constructions d'assurer une infiltration inférieure à 0,6 V/h, des maisons construits avec du soin mais sans exigences particulières sont souvent à des valeurs de 1 à 5 V/h et des constructions avec mauvaise gestion des fuites sont de l'ordre de 12 à 20 V/h. La procédure est bien entendu réglementée : une membrane étanche dans laquelle est incorporé un ventilateur calibré est placé sur une ouverture extérieure (porte ou fenêtre). Toutes les entrées d'air «fonctionnelles» (celles qui contribuent normalement à la ventilation du bâtiment) sont colmatées afin de ne laisser que les entrées d'air parasites. Le dispositif est doublé par des prises de pression statique à l'intérieur et à l'extérieur du logement. Le tout est relié à un ordinateur qui, pendant le test, enregistre les mesures de pression ainsi que le débit du ventilateur (www.enertech.fr - Fiche_EtancheiteT16 du 24octobre).

### 1-3-7-4 Les valeurs de l'étanchéité à l'air

Il existe deux paramètres les plus habituels pour exprimer le débit de fuite d'un bâtiment :

- la méthode française qui mesure ce débit sous un écart de pression intérieur/extérieur de 4 Pascals et rapporte cette valeur à la surface des parois déperditives, à l'exception des planchers bas. C'est le $Q4Pa_{Surf}$ qui s'exprime en $m^3/(h\ m^2)$. Elle privilégie l'idée que les infiltrations d'air se font essentiellement par les parois extérieures. Cet « à priori» n'est cependant pas tout à fait justifié car le sol peut aussi comporter des fuites ;
- la méthode européenne qui rapporte le débit de fuite (mesuré sous 50 Pa) au volume du bâtiment. C'est le $n_{50}$ qui s'exprime en vol/h. Cette méthode est plus satisfaisante et fournit une indication plus pertinente de la qualité des enveloppes. C'est aussi la seule évaluation qui soit utilisée dans toute l'Europe. Le passage de l'un des indicateurs à l'autre est possible, mais il n'est pas très simple :

$Q4Pa_{Surf} = 0{,}08\ n \times (V/S_{ext}) \times n_{50}$

*Avec :*

*- n : coefficient caractéristique de l'écoulement, 0,5 < n <1,0 La valeur moyenne que l'on peut utiliser est de 0,6-0,65*

*- V : volume de la zone testée [$m^3$ ]*

*- $S_{ext}$ : Surface des parois déperditives de la zone testée à l'exception des planchers bas.*

Dans les bâtiments de grande hauteur (Figure 1-37) avec une différence de hauteur importante avec des parties communes ouvertes comme des puits intérieurs ouverts, où les maisons ont des fenêtres qui y donnent, l'air froid aura tendance à descendre et à créer une pression intérieure plus importante qu'à l'extérieur. Sous ces conditions l'air froid s'échappe le bâtiment dans les parties basses. En partie haute du bâtiment, la pression est inférieur à celle de l'extérieur comme conséquence du même phénomène de gradient thermique, et c'est dans les parties hautes que l'air chaud pénètre par les fissures. En climat froid ce phénomène s'inverse, et c'est l'air chaud qui crée une surpression en partie haute du bâtiment. Plus le bâtiment est haut plus ce phénomène augmente. Les gaines d'ascenseur en particulier posent un problème très difficile à résoudre. Elles prennent généralement naissance dans les sous-sols, là où se trouvent les parkings, donc dans une zone non étanche à l'air. L'étanchéité à l'air des portes coulissantes sur chaque palier étant à peu près nulle, la gaine d'ascenseur apparaît comme un grand distributeur d'air infiltré à tous les étages d'un bâtiment. Il est vrai que si les façades sont très étanches à l'air, cette alimentation en air infiltré ne pourra pas traverser les logements puisqu'il ne pourra pas être exfiltré par la façade. Ce n'est malheureusement jamais le cas et les gaines d'ascenseur constituent l'un des points les plus faibles des bâtiments. Il existe seulement deux solutions. La première consiste à construire l'ascenseur à l'extérieur du bâtiment et à raccorder celui-ci à chaque niveau par des passerelles. La seconde, place, à chaque niveau, l'accès à l'ascenseur à l'intérieur d'un sas étanche à l'air. Dans certaines configurations architecturales, cette disposition peut s'intégrer élégamment sans difficulté. En revanche, dans certains cas, cette intégration s'avère vraiment problématique et nécessite alors de rendre le plus étanche possible les sas d'accès depuis les parkings.Le niveau de qualité des enveloppes courantes de bâtiments en France déjà construits sans trop de contraintes d'étanchéité à l'air n'est pas à ce jour exemplaire. Selon les tests in situ effectués par le CETE de Lyon, il apparaît qu'en maison individuelle, 55 % des logements se caractérisent par une valeur de n50 inférieure à 3,0 vol/h, 10% par une valeur supérieure à 6 vol/h et même 2% par une valeur supérieure à 10 vol/h. Pour les bâtiments à usage collectif, ces valeurs sont respectivement de 21%, 52% et 27%. Pour rappel, les performances exigées à une maison passive sont de 0,6 vol/h.

Les performances des bâtiments au Moyen Orient sont aujourd'hui moins performantes qu'en France. Nous pouvons supposer des niveaux d'étanchéité à l'air bien en dessus de 0,6 V/h.

Il existe aussi des mises en garde concernant les bâtiments étanches à l'air. Le non fonctionnement présente quelques particularités qui peuvent avoir des conséquences très dommageables :ces bâtiments ne «bénéficient» plus des entrées d'air parasites qui assuraient jadis une part importante du renouvellement d'air hygiénique. Il s'ensuit que la ventilation mise en place doit assurer son service sans faille, de façon continue, quelles que soient les conditions météorologiques extérieures. Ceci remet singulièrement en cause la ventilation naturelle ordinaire dont le débit est nul les jours d'anticyclone et vingt fois trop important les jours de tempête. Il est donc généralement nécessaire de mettre en œuvre une ventilation mécanique, mais il faut s'assurer que celle-ci fonctionne correctement, que les filtres sont nettoyés fréquemment (tous les 4 mois), que les débits sont suffisants et équilibrés. Attention : le retour des moisissures a déjà été observé dans certains logements, probablement par suite de l'encrassement total des filtres d'air neuf ou d'une panne prolongée du système de ventilation. Le problème des bâtiments étanches à l'air est que leur degré de tolérance aux imperfections de la

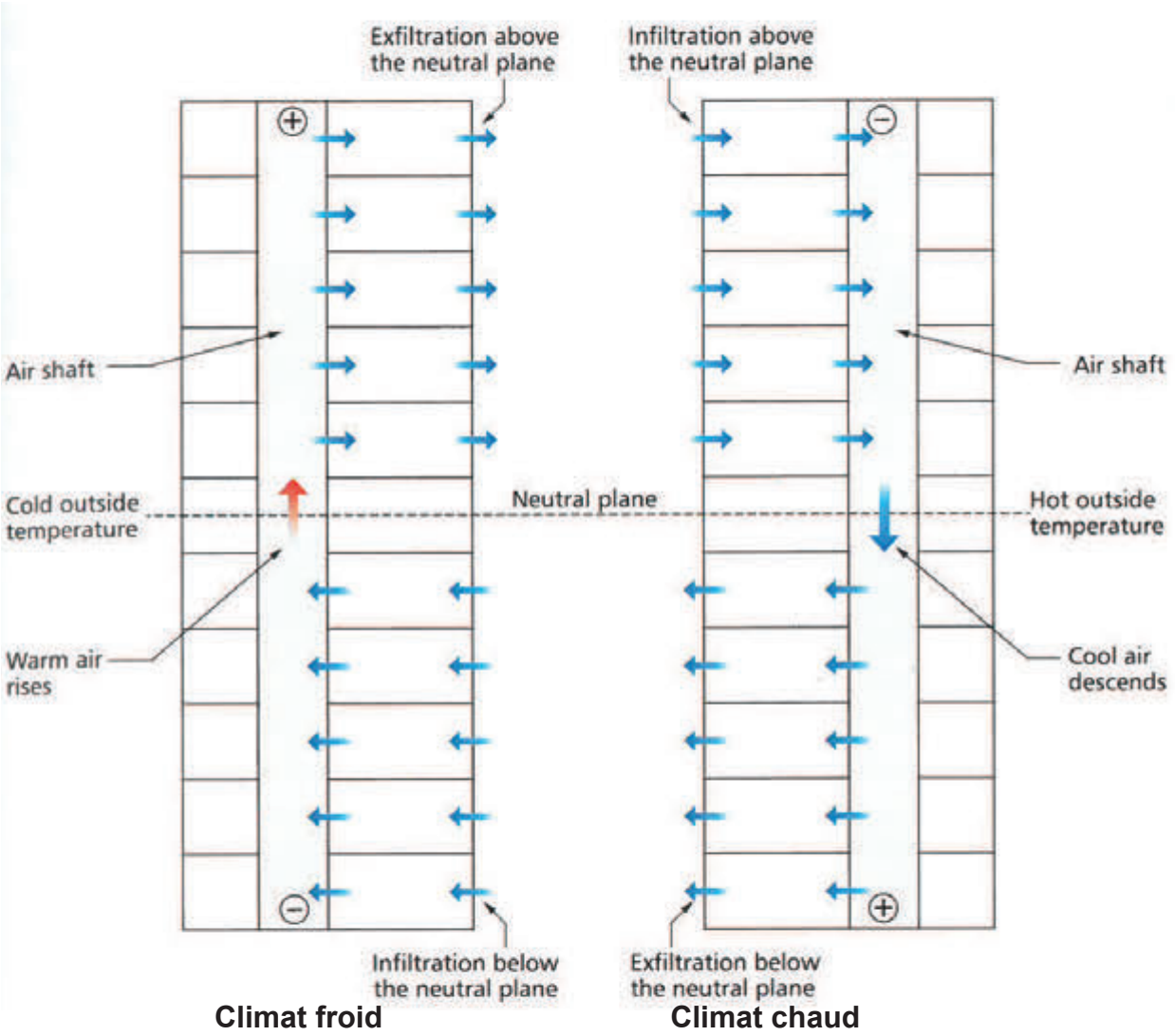



*Figure 1-37 Phénomène de sur-pression et sous-pression en haut et en bas en fonction du climat.*
*Source: CIBSE 2014*

ventilation est proche de zéro. Ceci pose un problème de fond sur la performance recherchée en étanchéité à l'air car si les bâtiments ne peuvent avoir un entretien périodique performant, les conséquences peuvent être graves. Pour cela il faut des ouvertures dans les menuiseries comme les grilles de ventilations et des dispositifs d'aération maîtrisée, en cas où la ventilation mécanique tomberait en panne.

### 1-3-7-5 Condensation dans l'enveloppe thermique

En ce qui concerne le rapport entre l'infiltration de l'air à travers l'enveloppe isolé et la condensation dans l'épaisseur de l'isolant, la réflexion en climat chaud s'inverse. En effet les condensations en climat froid se produisent en partie extérieur de l'enveloppe thermique, en contact avec le froid extérieur, mais en climat chaud

le «côté froid» se trouve à l'intérieur et le «côté chaud et humide» à l'extérieur. Ainsi nous pouvons trouver deux cas différents en termes de pression d'eau : des climats très chauds et secs, comme celui de Médine, où les humidités relatives sont basses la condensation n'est pas un problème, ou des climats très chauds et humides comme celui de Dubaï (Figure 1-38). Dans ces cas, le taux d'humidité extérieur étant élevé, il pourrait se produire une condensation dans la face intérieur (plus froide) de l'isolant. Ceci pourrait impliquer la présence d'humidités et des bactéries entre l'isolant et le revêtement intérieur. Dans les deux cas, climats chaud humide et sec, la membrane extérieure devient un élément technique crucial. Il doit gérer en même temps la barrière des eaux de pluie et la barrière de vapeur extérieur. Le paramètre que défini la perméabilité à la vapeur d'eau d'un matériau est le coefficient de résistance à la diffusion de vapeur μ indique dans quelle mesure, la vapeur d'eau traverse plus difficilement ce matériau que l'air. La quantité de vapeur d'eau diffusant à travers une couche d'un matériau déterminé ne dépend pas uniquement de la valeur μ du matériau mais aussi de l'épaisseur de cette couche. L'épaisseur équivalente de diffusion μd (ou Sd) indique la résistance qu'offre une couche de matériau à la diffusion de vapeur d'eau. μd est le produit du coefficient de résistance à la diffusion de vapeur (μ ) par l'épaisseur du matériau (d) et s'exprime en mètres.

Dans le cas de la culture du Moyen Orient avec des maisons en maçonnerie enduite, la paroi maçonnée de 20 cm a des valeurs de μs entre 2 (bloc béton non enduit) et 20 pour le béton armé. Une valeur de 20 est déjà très étanche à la vapeur d'eau et donc le rôle de la membrane perméable doit être joué par la membrane de l'autre côté de l'isolation. Afin d'éviter l'accumulation d'humidité à l'intérieur de la paroi, les membranes intérieure et/ou extérieure doivent pouvoir évacuer les excès d'humidités. On parle alors de «freine-vapeur».

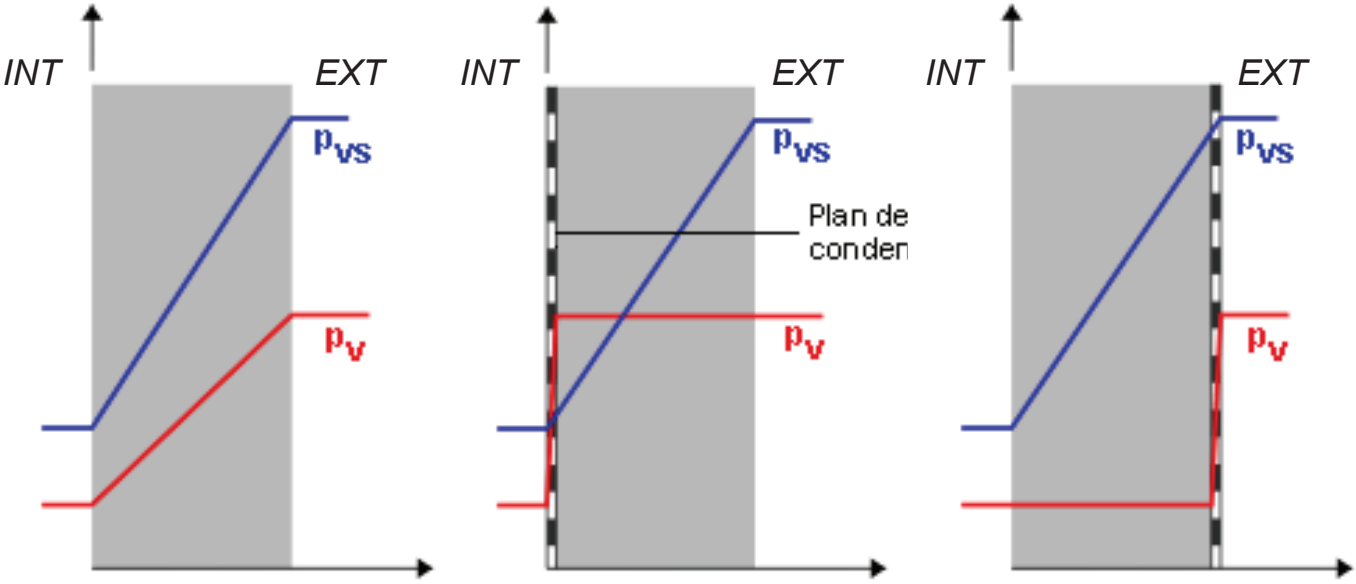



*Figure 1-38 Courbes des pressions de la vapeur d'eau en climat chaud. Pv: pression de la vapeur d'eau Pvs : pression de saturation. Source : www.energieplus-lesite.be 2018*

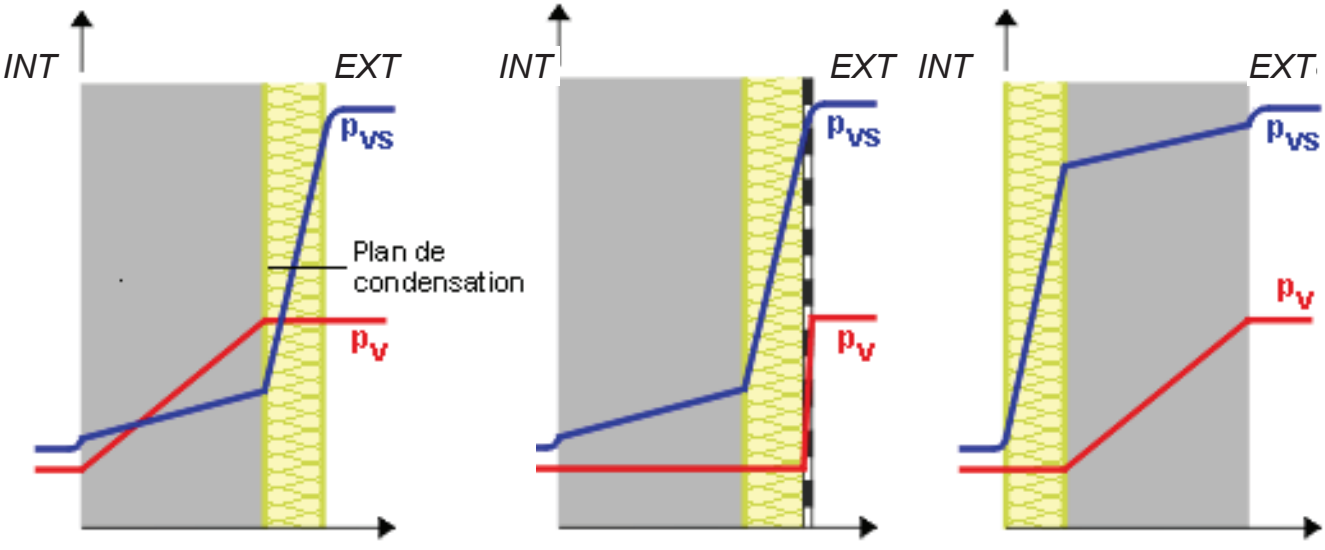



*Figure1-39 Courbes des pressions de la vapeur d'eau en climat chaud en fonction de la position de l'isolant. Pv: pression de la vapeur d'eau Pvs: pression de saturation. Source : www.energieplus-lesite.be 2018*

Le choix d'un freine-vapeur, plus ouvert au passage de la vapeur, permet souvent de se prémunir du risque, dit secondaire, de condensations internes en hiver ou au printemps, ou quand la pression de vapeur est plus importante à l'intérieur qu'à l'extérieur et que la vapeur a donc tendance à traverser la paroi de l'intérieur vers l'extérieur. En effet, le flux de vapeur n'est pas complètement bloqué vers l'extérieur ce qui facilite le séchage du mur.

La valeur μd des pare-vapeur n'est pas définie avec précision, mais en pratique, elle sera de plusieurs dizaines de mètres (par exemple 50 ou même 100 m) alors que la valeur μd des freine-vapeur ne sera que de quelques mètres seulement (par exemple 2 m à 5 m, mais rarement plus de 10 m). Cependant il faudra trouver la valeur du μd qui assure la non condensation dans l'épaisseur de la paroi tout en permettant l'évacuation de la vapeur résiduelle (Figure 1-39, schéma central).

## 1-3-8- Orientation des bâtiments

Les orientations des menuiseries ont une grosse influence sur des apports solaires en climat chaud. Dans l'hémisphère Nord, les façades orientées nord ont des apports les plus faibles, les façades sud ont des apports moins importantes que ce que nous pourrions imaginer avec les habitudes européennes où le Sud est la façade des apport par excellence. En effet, les apports au Sud sont moins importantes car le soleil est plus vertical et ils sont plus faciles à maîtriser par cette verticalité du soleil, une simple casquette permet de faire une ombre très efficace. Ce sont les façades Est et Ouest qui présentent les plus gros apports pendant la journée. Le graphique (Givoni-1994) proposé, (Figure 1-40), montre une expérimentation en climat chaud avec quatre chambres orientées selon les quatre points cardinaux. Ils avaient mesuré les pics de température de la chambre. Il montre que lorsque la chambre est au Nord ou au Sud la température atteint 30ºC pour un température externe de 26ºC, lorsque la fenêtre est à l'Est, elle atteint 33ºC et lorsque elle est à l'Ouest elle arrive à 38ºC dépassant largement les autres orientations. La limite de ce test est aussi les températures initiales des chambres, car celles à l'Est ont bien entendu, reçu le soleil en sortant de la période nocturne, et donc avec une température des murs bien inférieure à celles des murs recevant le soleil à l'Ouest, car l'après-midi les murs ont déjà été chauffés par la température générale de l'air ambiant. En tout cas il est clairement montré que les deux orientations E et O sont celles à se protéger davantage.

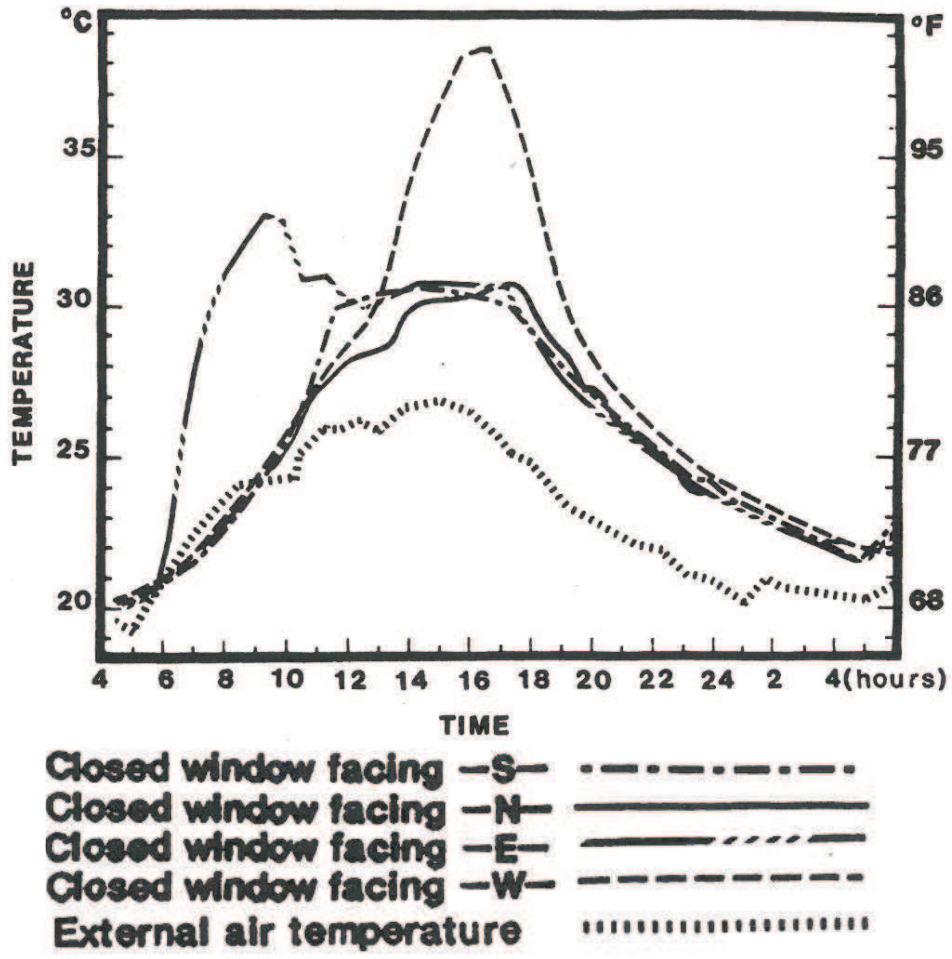



*Figure 1-40 Températures à l'intérieur des quatre chambres différentes avec une orientation par chambre vers chaque un des points cardinaux, N,S,E,O. Source: Baruch GIVONI-1994*

## 1-4- La production architecturale en climat chaud

Nous nous sommes intéressés à la production architecturale au Moyen Orient du passé à nos jours, afin de comprendre quelles sont les typologies d'habitat qui apportent des vraies avantages face au climat très chaud. L'objectif de ce chapitre est de connaître ce qui a été construit dans la région du Moyen Orient depuis les derniers siècles à nos jours, de l'analyser et d'extraire des conclusions. Pour cela nous commençons par l'habitat vernaculaire, qui était passif il y a certain temps mais avec des standards de confort actuels il n'est plus acceptable par les utilisateurs de nos jours car les attentes des utilisateurs ont largement évoluées. Cependant l'architecture vernaculaire nous apprends une vraie base de conception qui est toujours valable. En s'inspirant et en réinterprétant les principes de l'architecture vernaculaire nous aurons déjà fait une bonne partie du travail de conception d'une maison de basse consommation.

Dans cette quête de connaissances par le «déjà construit», l'architecture moderne suivra. Cependant nous constaterons que la modernité n'as pas eu le même élan qu'en occident pour des raisons qui dépassent le cadre de cette thèse. Nous nous intéresserons aux architecte modernes reconnus dans le milieu comme Hassan Fathy ou André Ravéreau et à leur interprétation de la modernité, «form follows fonction» appliquée au climat très chaud. Nous analyserons la production récente issue de l'architecture dite internationale ainsi que la production de la promotion immobilière de classe moyenne haute dans la région. La promotion immobilière de luxe sera un bon indicateur des tendances futures de la construction dans la région.

Nous nous intéresserons aussi aux dernières tendances de maisons de basse consommation énergétique dans la région comme des exposants d'avant-garde de la nouvelle vague écologique qui commence à se manifester au Moyen Orient. Ces visites nous montrerons la viabilité de certains systèmes déjà mis en oeuvre.

*Photo 1-13 Architecture vernaculaire de l'émirat de Dubaï avec la tour à vent restauré pour le tourisme culturel. Crédit photo : FYu*

## 1-4-1- Architecture vernaculaire

Le révérend J.M. Merk décrit très bien (BLANDFORD-1889) les adaptations des maisons et des modes de vie en climat très chaud au XVIII[e] en Inde « Les températures étaient à l'ombre de 50ºC [...] et dès le levé du soleil, les maisons devaient se fermer et rester fermées jusqu'au soir, seule la petite ouverture de la porte laissait une communication avec l'extérieur. Ainsi les maisons des européens étaient de vrais pièges brûlants qui rendait leur usage bien plus difficile que dans une maison de conception et construction locale. Pendant que les vents torrides soufflaient, les chambres devaient se tenir rafraîchies avec un système d'écran végétal devant les fenêtres que les gens éventuellement arrosaient avec de l'eau. Ils utilisaient aussi des ventilateurs manuels avec encore de l'eau vaporisée sur le courant d'air créé, système qu'ils appelaient thermantidote. Ceux qui n'ont pas les moyens d'assurer ces mesures sont condamnés à souffrir de la chaleur avec des journées à 45ºC et des nuits à 35ºC»

Comme nous avons vu dans le chapitre précèdent, la maison a un rôle central dans la culture arabe. D'abord car la maison représente le foyer et la protection de la famille, ainsi elle devient le temple de cette institution familiale, pas par son patrimoine bâti mais comme outil de ce qu'elle renferme. Elle a aussi un rôle primordial de filtre entre l'extérieur, « menaçant» et l'intérieur « intime ». Les constructions d'habitats arabes ont tous une série de filtres bâtis qui permettent accéder à chacun des invités plus ou moins loin en fonction de leur lien d'appartenance à la famille. Cette volonté de coupure avec l'extérieur une fois à l'intérieur de la maison, façonne beaucoup l'extérieur des maisons arabes les rendant plus opaques que nous en avons l'habitude en occident. Les maisons du Moyen Orient et de l'Afrique du Nord qui représentent l'architecture vernaculaire sont des maisons en maçonnerie, plutôt fermées vers l'intérieur et avec une protection solaire et visuelle importante. La littérature scientifique à longuement étudié les différentes typologies d'habitat en milieu aride, plus ou moins extrême, du monde arabe, et il en ressort des grandes similarités entre elles. Les principales typologies par region sont :

### 1-4-1-1 Les plans caractéristiques

Le Sud Marrocain - LA KASBA (Figure 1-41)
Maison fortifiée en forme pyramidale
Cours : déserte des pièces d'habitation et pour les animaux
Éclairement : espaces inférieurs sombres, chambre supérieures bien éclairées par les fenêtres et moucharabieh

L'Algérie : LE M'ZAB (Figure 1-42)

Cours : Vaste volume central éclairé par le plafond ouvert avec une grille pour éviter les chutes. Les évacuations thermiques se font par là. En été le jour elle est obturée pour empêcher le soleil de rentrer, la nuit elle est ouverte pour permettre l'évacuation des espaces. La nuit on dort sur les terrasses.

L'Algérie : LE SOUF (Figure 1-43)

Importance extrême de la cour. Toutes les chambres y donnent. Un portique de protection solaire entoure la cour et protège la sortie des chambres. L'éclairement vient de la porte qui donne sur la cour. Pas de fenêtres. Une ventilation transversale se fait entre la porte d'entrée et un orifice dans le sommet des coupoles

La Tunisie : LA DEJERBA (Figure 1-44)

Entrée en Zig Zag par le « squifa » pour privacité et filtre visuel. Toutes les chambres du RdC donnent sur la cour. Les chambres peuvent avoir une partie au R+1. Grande cour a ciel ouvert avec un mur d'enceinte aveugle sauf pour les fenêtres des parties hautes des chambres.

La Tunisie : L'OUDREF (Figure 1-45)

Entrée en Zig Zag par le « squifa » pour privacité et filtre visuel. Toutes les chambres du RdC donnent sur la cour. Une zone de la maison peut avoir une partie au R+1. Grande cour à ciel ouvert qui distribue vers les chambres et autres pièces.

La Tunisie : LA GAFSA (Figure 1-46)

Construction avec une hauteur sous plafond généreuse qui permet de faire des estrades pour des petites pièces de vie ou pour des réserves de provisions

Nomadisme intérieur

Les cours intérieures

Les tours à vent

Les terrasse accessibles

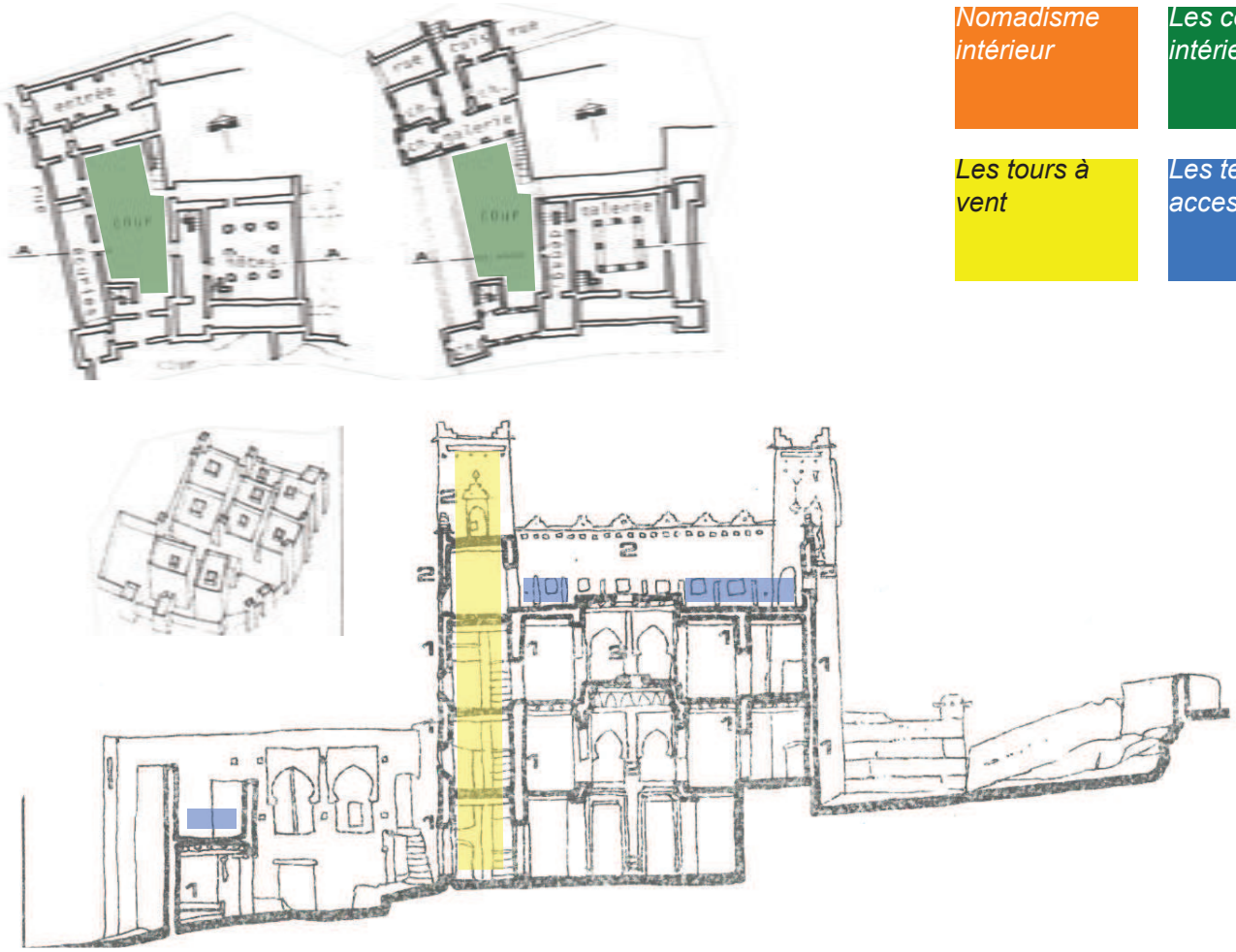


Figure 1-41 Kasba de la région du Maroc. Source: MOINE et PRADEAU

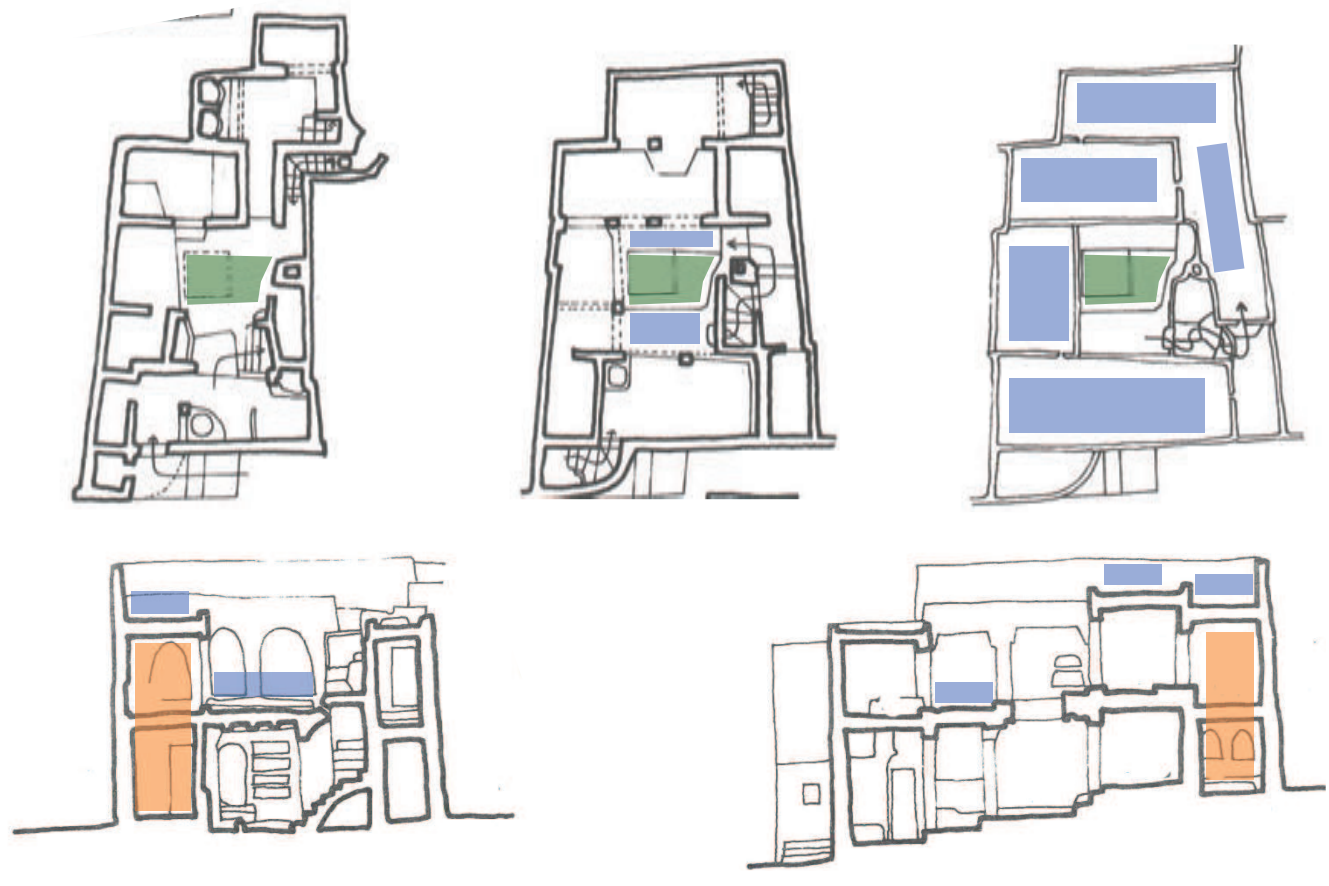


Figure 1-42 Le M'Zab de la région d'Algérie. Source: MOINE et PRADEAU

Le Yémen : TOURS EN TERRE CRUE DE SANA'A (Figure 1-47)

Maisons massives de 4 niveaux. RdC réservé aux animaux et à l'entrepôt, étages supérieurs pour les habitations. Le premier étage pour les domestiques et les suivants pour les propriétaires.

Les températures peuvent être extrêmes de -4ºC à 35ºC, de ce fait c'est la stratégie du climat froid aride qui prévaut : les façades S,E,O sont ouvertes et la N est fermée. La lumière arrive par les fenêtres. Une famille de plusieurs générations habite l'immeuble. La distribution à l'occidentale d'une famille par niveau est rare. La dimension des ouvertures augmente au fur et à mesure que nous montons dans les étages supérieurs. Séparation fonctionnelle des ouvertures : la partie haute est pour l'éclairage et la partie basse pour la vue et la ventilation.

L'Afghanistan : L'HERAT

Bâtiment maison bourgeoise, avec une cour semi-privée et une distribution d'habitations nobles au Nord et au Sud de la cour. La cour a un plan d'eau. Cette distribution est faite pour favoriser le nomadisme été-hiver des familles. Les pièces Est au Ouest sont occupées par les domestiques et leur familles. La ventilation est assurée dans les pièces au nord par des attrapes-vent qui canalisent les vents frais du nord en été traversant les pièces d'été vers la cour.

### 1-4-1-2- Elements architecturaux communs à toutes les typologies

Dans tous ces exemples, nous observons la présence systématique de cours intérieures, du nomadisme intérieur, du repli des activités domestiques vers le cœur des habitations, la nature opaque ou filtrante des murs des façades extérieures, la présence de l'eau dans les cours.

**1- Le nomadisme intérieur**

Depuis des siècles les Occidentaux des pays froids ou tempérés ont cherché à s'éloigner du sol froid en s'asseyant sur des chaises. De ce fait les meubles ont évolué et sont devenus de plus en plus lourds ce qui a progressivement spécialisé les pièces de vie. Par contre les Orientaux ont cherché le contact du sol frais en s'asseyant par terre sur des nattes, banquettes, coussins et tapis, qui tiennent lieu de fauteuil, de chaise ou de lit. De ce fait découle le manque de spécialisation des pièces, qui favorise le nomadisme intérieur.

Dans les pays islamiques au climat chaud, la polyvalences des espaces de la maison autorise un nomadisme intérieur qui permet de fuir la cellule surchauffée en fin de journée vers des espaces semi-extérieurs servant de séjour ou de lieu de repos comme la loggia, l'iwan ou le portique, ou extérieurs comme la cour et la terrasse sur les toits. Cette pratique est possible grâce à la non spécialisation des pièces par un mobilier multifonctionnel en étroit rapport avec les habitudes pratiquées dans l'acte de s'asseoir. En effet la position assise du monde arabe a profondément conditionné l'aspect de l'architecture. Cette position autorise une polyvalence des espaces en séjour, salle à manger ou chambre. Il peut être saisonnier, en utilisant le RdC et la cave comme zones de vie d'été car ils sont naturellement plus humides et frais que les étages supérieurs et moins soumis aux rayonnements solaires. Les chambres sont utilisées de préférence pendant l'hiver plus frais ou froid. Ceci est connu comme nomadisme vertical. Il peut aussi être horizontal en échangeant les pièces du Nord et les pièces du Sud en fonction des saisons.

Le nomadisme peut aussi être journalier, qui consiste à habiter différents niveaux d'une maison au cours d'une même journée. Il arrive ainsi d'une façon générale dans ces climats chauds ou, l'été, que les habitants vivent la journée dans les pièces fraîches et ventilées du RdC et dorment la nuit sur les terrasses, sauf si la chaleur est trop importante et dans ce cas ils dorment dans la cave. En hiver ils profitent du soleil dans les terrasses et la nuit ils dorment dans les chambres, plus sèches et chaudes que les étages inférieurs. A Bagdad la cuisine est éloignée des parties fraîches et couvertes pour éviter une source supplémentaire de chaleur. Cela peut encore aller plus loin, avec l'usage de quartiers d'été et quartiers d'hiver dans la propre maison, avec deux bâtisses indépendantes autour de la cour commune comme cela se passe à Oman ou en Afghanistan.

**2- La cour intérieure**

La maison traditionnelle en climat chaud se ferme au désert et à son sable aveuglant, salissant et suffocant. L'outil utilisé pour faire face est la cour intérieure. L'espace enclos par les pièces peut apporter un sentiment de calme et de sécurité. Répondant déjà au besoin culturel d'introversion, la cour est un espace ombragé une bonne partie de la journée qui agit comme zone tampon entre l'extérieur et l'intérieur. Son utilisation permet aussi un gain important d'espace architectural en supprimant les couloirs et les circulations si présentes dans la culture occidentale. L'introversion de l'habitat permet à la cour intérieure de devenir le centre des activités de la maison. Ce rôle central de la cour est complémentaire avec son toit à ciel ouvert pour les décharges thermiques nocturnes protégée des vents chauds et à la possibilité de la refroidir par l'eau de ses fontaines.

**3- La terrasse sur les toits**

L'utilisation de la terrasse pour les activités domestiques en hiver, et le sommeil en été est générale

Nomadisme intérieur

Les cours intérieures

Les tours à vent

Les terrasse accessibles

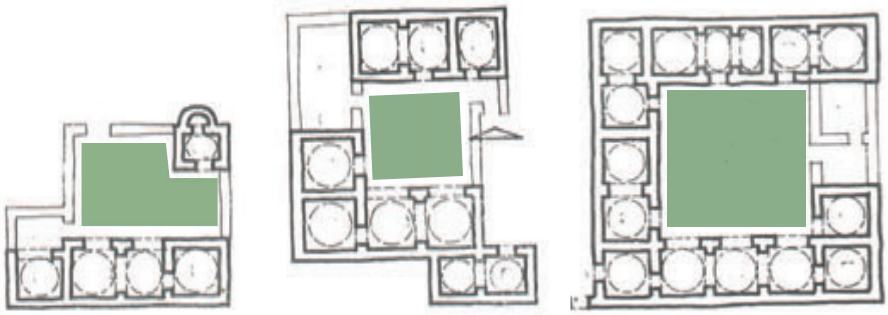


*Figure 1-43 Le Souf d'Algérie.*
*Source: MOINE et PRADEAU*

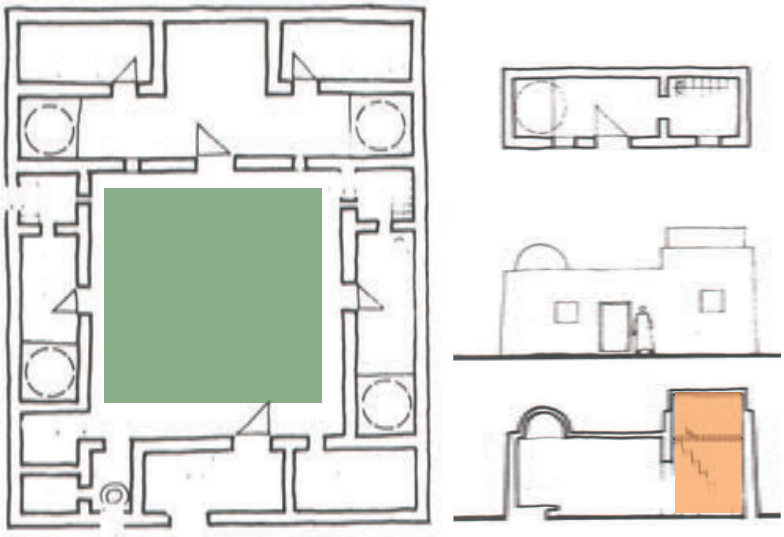


*Figure 1-44 La Dejerba de Tunisie.*
*Source: MOINE et PRADEAU*

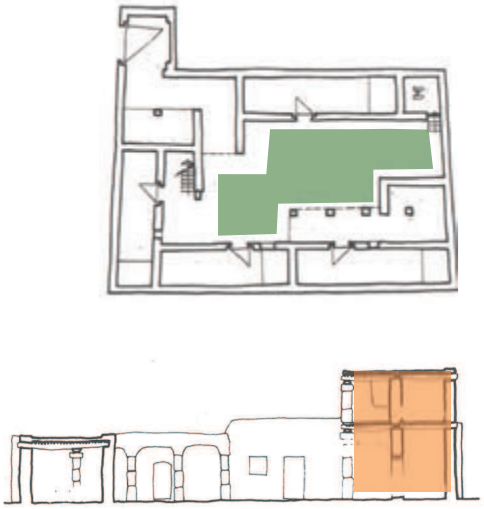


*Figure 1-45 L'Oudref de Tunisie.*
*Source: MOINE et PRADEAU*

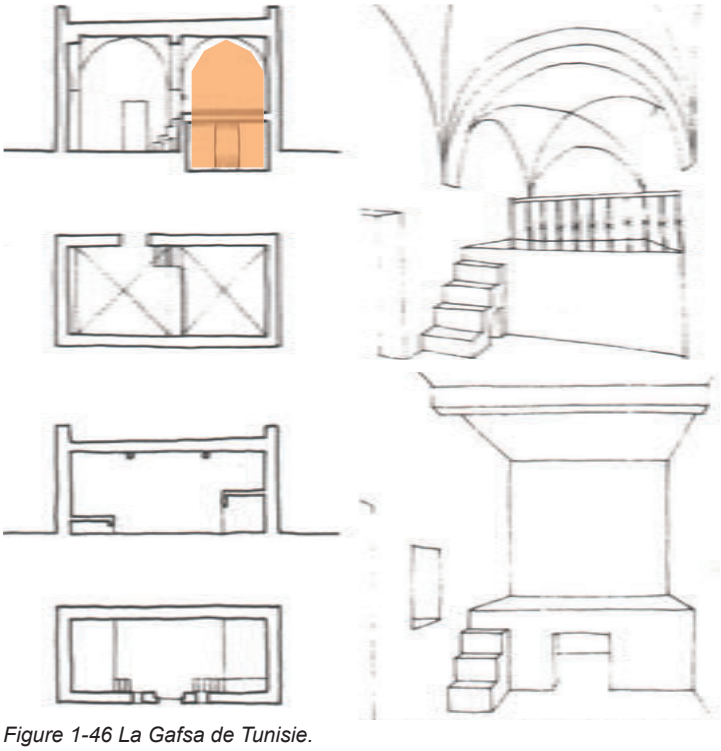


*Figure 1-46 La Gafsa de Tunisie.*
*Source: MOINE et PRADEAU*

*Figure 1-47 Les tours en terre crue de Sana'a au Yémen.*
*Source: MOINE et PRADEAU*

dans les pays au climat chaud du Moyen Orient. Les toitures couvertes en voûtes, moins confortables pour les activités sociales, sont utilisées comme zones de séchage des fruits et des céréales. Dans certains pays comme en Algérie, les hommes sont strictement interdits sur les terrasses de jour car ils pourraient apercevoir depuis cette plate-forme les femmes d'autres maisons. Souvent dans les terrasses des éléments architecturales comme de murs acrotères de plus de 1,5 m assurent l'intimité de l'espace lorsque les personnes sont assises.

**4- Les tours à vent**

Déjà connues du temps de l'Égypte ancien, on retrouve les tours à vent presque uniquement au Moyen Orient. Au Caire, elle font face au vent du Nord de la méditerranée qui remonte le Nil. Dans les émirats du golfe persique elles sont multidirectionnnelles pour capter les brises de terre et de mer. En Irak l'incorporation d'une voile montée sur un pivot rotatif permet de capter des vents variables. La tour à vent capte les vents dominant d'été pour rafraîchir et aérer un bâtiment. Elle modifie à la fois la température et la densité de l'air qu'elle absorbe. En fonction de l'heure de la journée et de la saison, le fonctionnement des tours à vents peut se résumer ainsi :

1- les nuits sans vent : la tour fonctionne comme une cheminée. Les murs de la tour qui ont absorbé de la chaleur pendant la journée réchauffent l'air ambiant. L'air a l'intérieur de la tour commence à se déplacer par la pression du gradient thermique créant un courent ascendant de succion.

2- les nuits avec du vent : la tour capte l'air qui rentre vers l'intérieur de la maison. Les pièces sont rafraîchies par l'air frais de la nuit.

3- les jours sans vent : elle marche au contraire d'une cheminée. Les murs de la tour, étant froids de la nuit, ils refroidissent l'air à l'intérieur de la cheminée. L'air commence à descendre vers le logement créant un courent d'air qui finit par sortir par les portes et fenêtres. Lorsque la température des murs de la tour arrive à la température extérieur, et qu'ils commencent à se chauffer à cause du soleil, le processus s'inverse et l'air commence à monter.

4- les jours avec vent : la tour capte l'air qui rentre vers l'intérieur de la maison. Les pièces sont rafraîchies par l'air en mouvement qui peut a son tour grâce à l'évapotranspiration apporter une sensation de confort. Le problème est lorsque la température extérieure est tellement haute que l'air chaud même si il est en mouvement n'est plus le bienvenu au cœur de la maison.

Les phénomènes aéroliques peuvent facilement se combiner avec des processus de refroidissement adiabatique. A son passage sec dans des citernes souterraines ou des plans d'eau, l'air sec frôle le plan d'eau, se refroidit et s'humidifie par l'évaporation de l'eau en surface. Cet air frais très précieux est conduit à l'intérieur du logement. Dans des contextes très poussiéreux, l'architecture des tours à vent se modifie pour proposer des trous d'aération situés au sommet d'un dôme ou d'une voûte, l'air extérieur voit ses lignes de vitesse compressées passer par une zone étroite et augmente sa vitesse. Cette augmentation de vitesse fait diminuer la pression de l'air en tête de dôme et une évacuation de l'air se produit. Il s'agit d'une variante de l'effet venturi. La nature poreuse de la céramique non vernie provoque par filtration, l'humidification de la face extérieure de la jarre, et produit un refroidissement des faces intérieures des parois par conduction ainsi qu'un refroidissement de l'eau à l'intérieur, ce phénomène est accru quand on place la jarre dans un courant d'air. À 16h une seule jarre a produit 1700 kcal (MOINE et PRADEAU-1978), et au moment le plus chaud de la journée, le taux de refroidissement a atteint 165 kCal/h ce qui équivaut à 192 W de puissance de refroidissement. La ventilation transversale peut aussi se produire par le moyen de combinaisons de deux cours intérieures, l'une dite chaude et l'autre dite froide. La cours la plus étroite et donc avec moins d'ensoleillement restera plus fraîche et avec une densité de l'air importante par rapport à une autre cour contiguë dite chaude à cause de la largeur plus importante qui lui fait recevoir encore plus de rayonnement solaire. La différence de densité de l'air entre ces

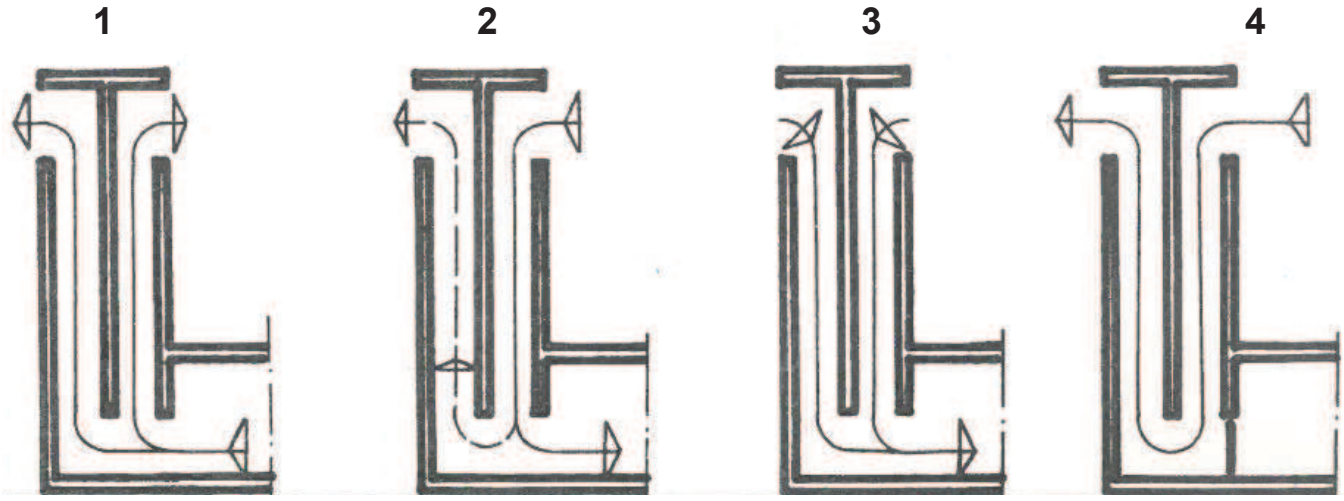



*Figure 1-48 Fonctionnement des cheminées à vent en fonction des conditions extérieures. 1-Les nuits sans vent, 2-Les nuits avec du vent, 3-Les jours sans vent, 4-Les jours avec vent. Source: MOINE et PRADEAU*

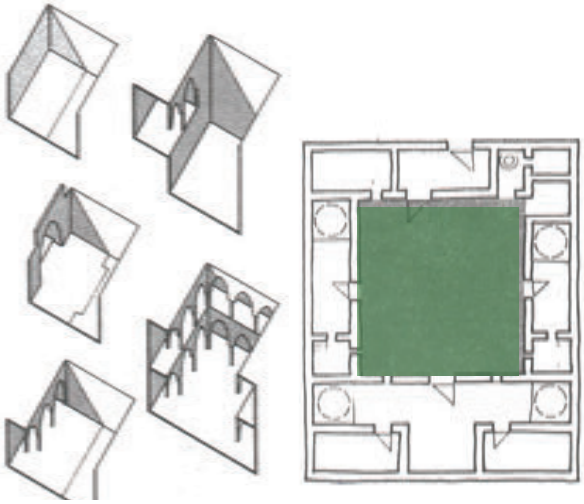
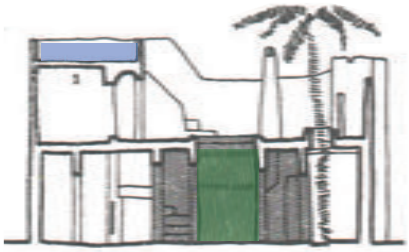


Figure 1-49 La cour intérieure. Source: MOINE et PRADEAU



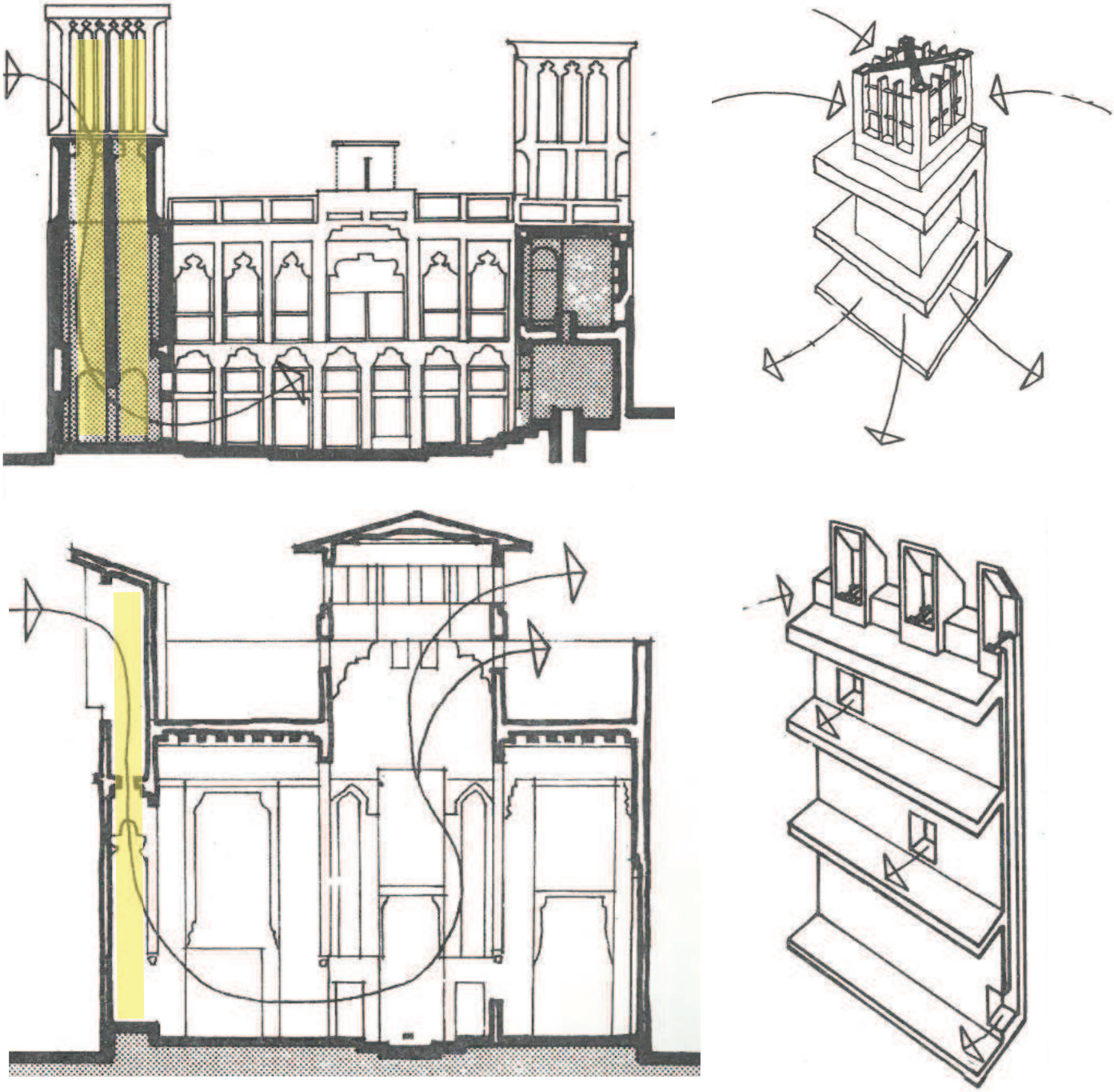


Figure 1-50 Les cheminées à vent. Source: MOINE et PRADEAU

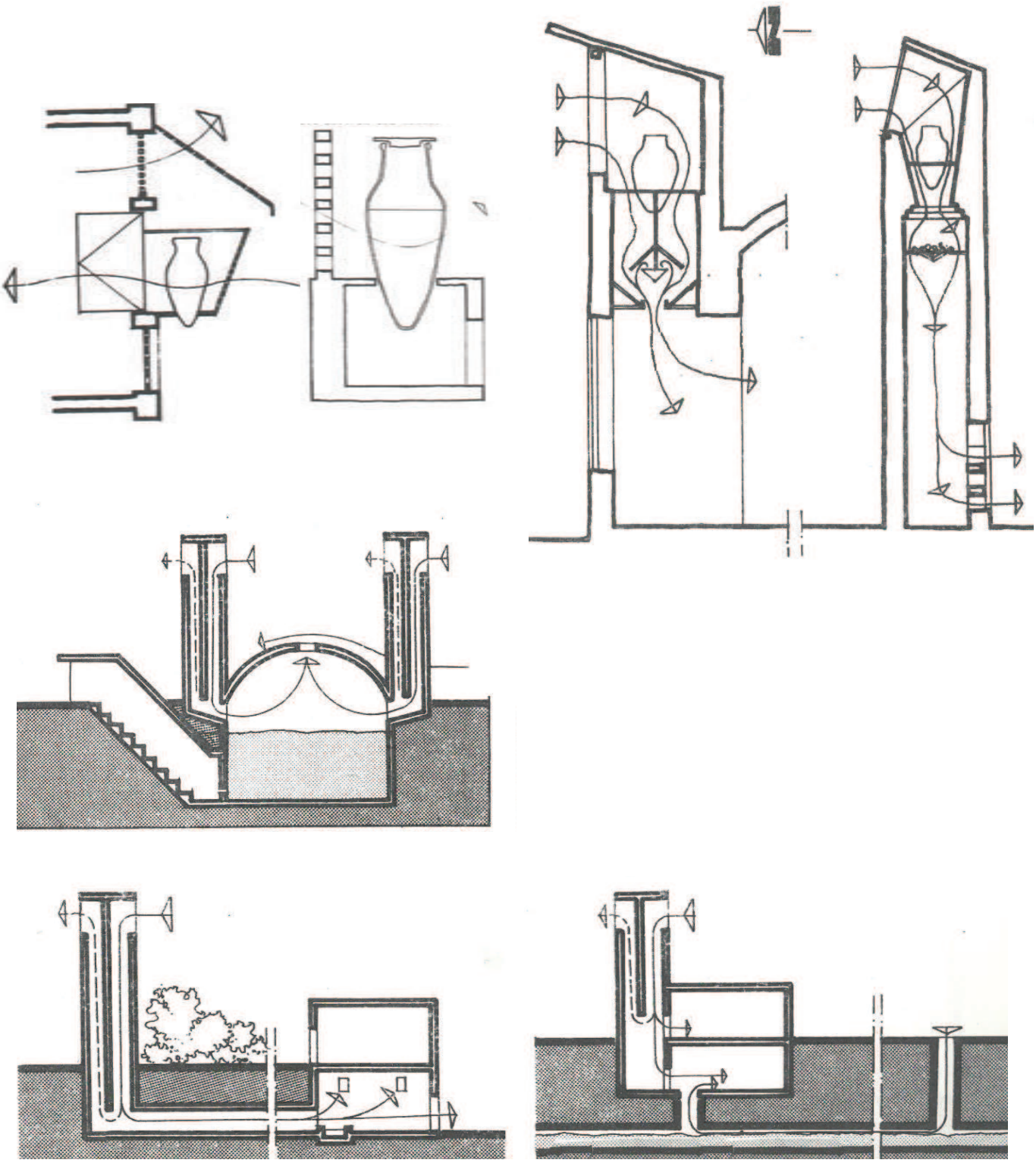


*Figure 1-51 Différents dispositifs de rafraîchissement adiabatique. Source: MOINE et PRADEAU*

deux espaces crée un courant d'air transversal.

**5- L'eau**

Les phénomènes de évaporation avec les courants d'air, se retrouvent de manière récurrente dans l'architecture islamique du Moyen Orient et de la Méditerranée sous forme de caniveaux, cascades, plans d'eau, jets d'eau et jarres. En plus de ces phénomènes, les murs des constructions vernaculaires en pierre ou terre sont très actifs dans des processus de capillarité. L'eau qui monte dans le mur par capillarité arrive en surface et est évaporée par l'air ambiant tout en refroidissant le mur lui-même. Un autre phénomène sont les particules d'eau confinées dans les murs en terre qui peuvent venir participer au déphasage thermique jour/nuit par les phénomènes de changement de phase, liquide et gaz.

**6- L'ombrage**

Caractéristique fondamentale de l'architecture vernaculaire, elle abrite des rayons du soleil et abaisse

la chaleur de l'espace environnant. L'homme ressent physiquement et visuellement ce confort auquel il est sensible. Cette double fonction contre la chaleur et la lumière confère à l'espace ombragé une raison sociale importante car il abrite les activités quotidiennes comme les repas, les siestes, et facilite la rencontre sociale.

### 1-4-1-3- Visites de l'architecture vernaculaire du Moyen Orient

Dans la continuité du travail d'analyse de la production architecturale nous avons visité les villes chaudes et/ou représentatives du Moyen Orient : Naplouse, Ramallah, Jéricho, Jedda, Médine, Riyad, Dubaï, Sharjah, Muscat, et Sour. Les deux premières n'appartiennent pas aux villes du Moyen Orient dites chaudes mais elle montre la similitude des tendances des constructions récentes dans le Moyen Orient. Dans toutes, nous trouvons des exemples d'architectures vernaculaires et contemporaines qui s'ignorent entre elles la plupart du temps.

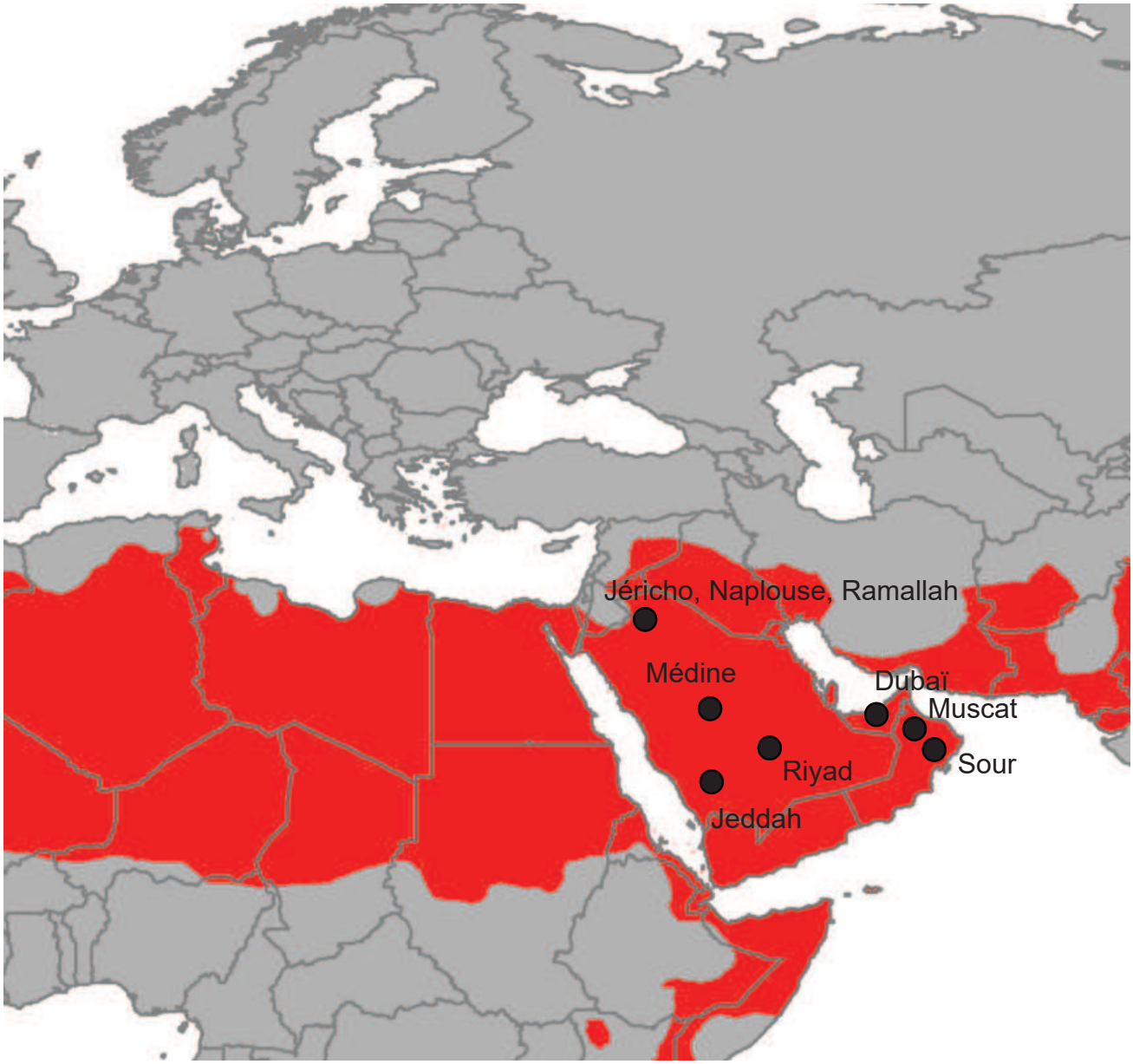



*Figure 1-52 Visites réalisées dans le cadre du présente étude.*

**1- Jéricho**

Ville de la vallée du Jourdain, à 37 kilomètres à l'est de Jérusalem, Jéricho, une des plus anciennes villes connues à ce jour, fut fondée vers 7000 avJC, tout près d'une source pérenne très abondante qui transforme cette région desséchée en une oasis au climat tropical. Située bien au-dessous du niveau de la mer, -240m, sur une route est-ouest à 16 kilomètres au nord de la Mer Morte, Jéricho est le site habité en permanence, le plus bas sur Terre. Jéricho est la première ville des futurs territoires palestiniens autonomes, passés sous l'administration de l'Autorité palestinienne le 13 mai 1994 après la signature des premiers Accords d'Oslo, puis des accords israélo-palestiniens sur Jéricho et Gaza en 1994. Après une période de réoccupation israélienne pendant la seconde Intifada, Jéricho a été rendue à l'Autorité palestinienne le 16 mars 2005.

Ce principal pôle urbain de la vallée du Jourdain, une région principalement agraire, joue un rôle crucial dans le développement économique de la région. La ville doit aujourd'hui faire face à des défis urbains propres à son statut d'unique ville du gouvernorat, hébergeant 50 000 habitants, soit près de la moitié de sa population. Le Conseil municipal qui dirige la ville depuis 1930, est donc un acteur majeur responsable de nombreux services essentiels au bien-être des habitants tels que l'accès à l'eau potable, la collecte des déchets solides, etc. La municipalité tente par ses actions de faciliter le développement économique de son territoire à travers une maîtrise optimisée du foncier disponible et l'amélioration des infrastructures clefs indispensables au bon fonctionnement de la ville. A l'occasion de notre visite sur les lieux, nous rencontrâmes les services municipaux en quête d'un règlement d'urbanisme et notamment à la recherche de prescriptions thermiques. Nous constatâmes qu'il n'y a pas de réglementation ou des prescriptions concernant la performance thermique des bâtiments, pas d'incitatifs du gouvernement pour promouvoir la basse consommation.

La ville est éparpillée avec des maisons massiques en maçonnerie de bloc béton qui se substituent depuis quelques décennies à la maçonnerie en terre crue. Le revêtement le plus habituel est l'enduit pour les plus modestes et la pierre pour celles qui peuvent se la payer. Tous les toits de la ville et une grande partie des murs sont remplis de climatiseurs adiabatiques, sûrement du fait de la proximité de la nappe phréatique et donc de l'accès à l'eau. Les couleurs sont souvent beige ou blanc avec des ouvertures ne dépassant pas 15% de la surface des façades verticales. Les enveloppes sont toutes en enduit ciment ou terre cuite avec une casquette en guise de protection solaire au-dessus des fenêtres. La sensation pendant la promenade urbaine est celle d'une ville prête à résister les embâcles des étés très chauds et secs. Nous avons pu visiter la maison d'une famille au centre ville (Photos 1-16 et 1-18) et constater l'inexistence de l'isolation. L'enveloppe loin d'être performant en étanchéité à l'air et pour limiter les températures, les utilisateurs emploient trois moyens complémentaires : la climatisation électrique, la climatisation adiabatique et le ventilateur plafonnier. La maison avait moins de 5% des ouvertures vers l'extérieur et une forme très compacte en partie par l'acollement aux constructions avoisinantes. Aucune référence à une gêne thermique pendant l'été n'est faite lors de nos conversations.

Nous avons pu constater la présence de nombreuses constructions en murs très épais en terre crue avec des enduits à la chaux traditionnels et une charpente en bois. Ces constructions ont été peu a peu laissées de coté car la terre crue n'est pas vue comme un élément valorisant du projet et qui en plus prend trop de place en comparaison aux blocs béton.

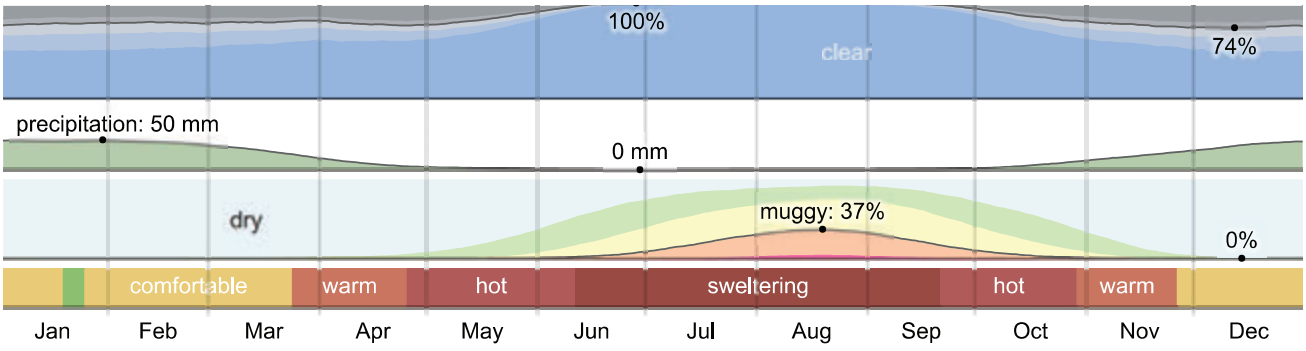



*Figure 1-53 Paramètres climatiques mensuels de Jéricho. Valeurs exprimés en pourcentage de temps dans une même situation. Crédit : weatherspark.com - Source : NASA's MERRA-2 Modern-Era Retrospective Analysis*

*Photo 1-14 Maison traditionnelle à Jéricho avec refroidisseur adiabatique en façade. Crédit : FYu*

*Photo 1-15 Logements collectifs récents à Jéricho avec refroidisseur adiabatique en façade. Crédit : FYu*

*Photo 1-16 Maison classe populaire à Jéricho avec refroidisseur adiabatique en façade. Crédit : FYu*

*Photo 1-17 Maison classe populaire à Jéricho avec toiture en tôle acier. Crédit : FYu*

*Photo 1-18 Intérieur d'une maison populaire à Jéricho avec refroidisseur adiabatique, A/C et ventilateur. Crédit : FYu*

*Photo 1-19 Logements collectifs à Jéricho avec protection de fortune avec des rideaux par l'extérieur. Crédit : FYu*

*Photo 1-20 Maison vernaculaire avec murs en adobe et enduit en terre crue à Jéricho. Crédit : FYu*

**2- Ramallah**

Ramallah est la capitale administrative de l'entité palestinienne, située dans la zone de collines du centre de la Cisjordanie, à environ 15 km au nord de Jérusalem. L'altitude moyenne de la ville est de 900 m. La population, initialement composée principalement de Palestiniens chrétiens, comprend depuis 1948 de nombreux réfugiés musulmans issus de toute la Palestine. La ville comprend environ 40 000 habitants. Elle possède un climat méditerranéen avec un été sec et chaud mais un hiver généralement froid et pluvieux. Fondée par Rashid Haddadin venant de la Jordanie, Ramallah date du 16° siècle. Plusieurs facteurs tel que l'immigration économique vers l'Europe et les Etats-Unis ou l'exil de milliers de Palestiniens de leurs villes en 1948 ont contribué à la transformation de la ville, devenu un carrefour central depuis la fin du XX$^{e}$. Depuis l'établissement de l'autorité palestinienne en 1994 la ville a connu une forte augmentation urbaine tout en devenant le centre administratif du pays. La ville est également le siège de la majorité des ambassades et des organisations internationales. En plein cœur de la Palestine, elle est le carrefour reliant les principales villes de la Cisjordanie. Ville cosmopolite et dynamique, Ramallah connaît depuis la fin de la Seconde Intifada un boom économique grâce à sa stabilité. La prospérité économique de la ville attire de nombreux investisseurs et contribue également à une croissance forte de la population. Des industries très variées se sont installées dans la ville de Ramallah, produisant un large éventail de biens et de services. Siège économique et politique, Ramallah est également la principale ville culturelle de la Palestine. (Sources : fr.wikipedia.org et www.bordeaux.fr)

La vieille ville de Ramallah, Ramallah-Tahta, représente un dernier bastion de l'architecture vernaculaire urbaine de la région, elle est dans l'haut d'une colline bien exposé à un soleil de climat méditerranéen. Avec des maisons alternant des plain-pied et des R+1. Les dispositions constructives et la densité urbaine génèrent une sensation laquelle pendant la promenade des maisons moins massiques qu'à Naplouse mais la présence de la pierre de taille reste omniprésente dans l'habitat vernaculaire. L'absence d'ouvertures vers la rue et des patios intérieurs ouverts sont les caractéristiques principales de ce noyau urbain. Les toitures actuelles sont remplies de réservoirs d'eau potable chaude pour les eaux chaudes sanitaires et pour en garder en réserve en cas de coupures du réseau, fréquentes, ce qui empêcherait l'accès à l'eau potable. Toutes les ouvertures ont des volets qui permettent de bloquer le soleil et la vue de l'intérieur des maisons. Ces volets ne sont plus en bois comme autrefois mais en acier non isolé.

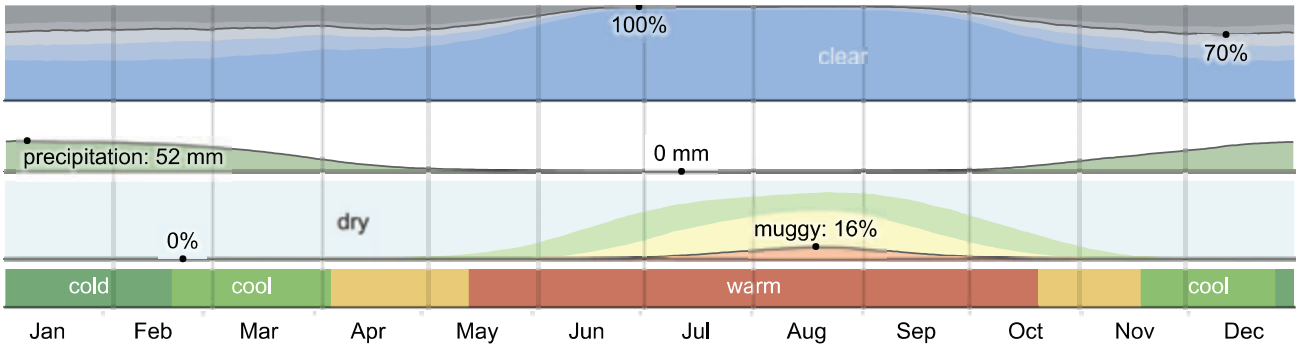



*Figure 1-54 Paramètres climatiques mensuels de Ramallah, Palestine. Valeurs exprimés en pourcentage de temps dans une même situation. Crédit : weatherspark.com - Source : NASA's MERRA-2 Modern-Era Retrospective Analysis*

*Photo 1-21 Maison dans la vielle ville de Ramallah avec eau chaud sanitaire sur le toit. Crédit : FYu*

*Photo 1-22 Maison dans la vielle ville de Ramallah en pierre massive. Crédit : FYu*

*Photo 1-23 Maison dans la vielle ville de Ramallah en pierre massive. Crédit : FYu*

*Photo 1-24 Maison dans la vielle ville avec eau chaud sanitaire sur le toit, pierre et pas de fenêtres. Crédit : FYu*

*Photo 1-25 Maison dans la vielle ville avec eau chaud sanitaire sur le toit, pierre et pas de fenêtres. Crédit : FYu*

*Photo 1-26 Maison dans la vielle ville en pierre et pas de fenêtres. Crédit : FYu*

### 3-Naplouse

Nichée au creux d'une vallée, Naplouse est l'une des villes les plus peuplées de Cisjordanie et des plus jeunes aussi grâce à l'université de An-Najah, la plus grande des territoires palestiniens. L'histoire et l'identité de la ville ont été marquées par des actes de résistance depuis le début du SXX, d'abord contre les Britanniques et puis contre les israéliens au cours des deux Intifadas. Ce qui lui a valu le surnom de « Jebel en Nar », «la montagne de feu» à cause des incendies dans la ville. Pendant la seconde Intifada, Naplouse a subi des bombardements israéliens et a été régulièrement soumise aux couvre-feux. La population, les bâtiments mais aussi l'économie de la ville ont été profondément touchés pendant cette période. Les quartiers de la Casbah situés dans le centre actuel de la ville sont connus pour leurs rues sombres et étroites, leurs marchés traditionnels et leurs petites rues adjacentes. La topographie a contraint le développement urbain la ville par la présence de deux flancs de montagnes de part et d'autre de la vallée qui limitait la construction en flanc de colline. La ville a aussi connu plusieurs catastrophes naturelles, comme le tremblement de terre du 11 juillet 1927. Une grande partie des maisons du centre historique ont été construits selon le modèle de l'architecture islamique, et dans le respect des règles morales, religieuses, exigeant la non-divulgation de l'intimité à autrui. Pour cela ils ont favorisé les unités indépendantes pour loger une seule famille ou un seul clan. L'accès à ces constructions est assuré par un couloir couvert qui porte le nom de «HOUSH», ce système va donner aux maisons de Naplouse (Abushosha-2013) un cachet particulier qui la distingue des autres villes palestiniennes. Le climat sévère en hiver et en été invite les maisons a protéger ses habitants. Nombre de personnes rencontrées ont évoqué l'habitat traditionnel de la vieille ville de Naplouse comme un lieu de vie idéal avant l'Intifada. Les habitants de Naplouse semblent attachés à cet habitat typique. Il fait partie entièrement d'un patrimoine régional qu'ils apprécient et souhaitent conserver (Abushosha-2013).

L'abondance des carrières aux alentours favorise l'utilisation de la pierre comme élément de maçonnerie omniprésent. L'habitat vernaculaire produit des enveloppes composées uniquement de pierres de taille, dans les constructions plus récentes mais d'inspiration fortement vernaculaire, la pierre est combinée avec la filière humide du ciment : blocs béton, béton armé et planchers hourdis. Les enveloppes restent toutes en pierre apparente. La distribution urbaine de la partie historique de la ville est très compacte pour de diverses raisons de sécurité, d'économie de construction par le partage de murs et pour le confort été/hiver. Nous avons trouvé de nombreuses maisons à patios, où la végétation prend sa place généreusement, surtout dans les maisons abandonnées ou délaissées par le départ des utilisateurs hors du centre ville. Certaines maisons anciennes ont des plafonds voûtes en pierre de taille avec des hauteurs sous plafond de plus de six mètres, les Iwan. Ces espaces créent des gradients de température tellement forts que la partie inférieure est toujours très fraîche. Pour les habiter en hiver les utilisateurs ont construit parfois de petites maisons en bois ou maçonnerie sous les voûtes.

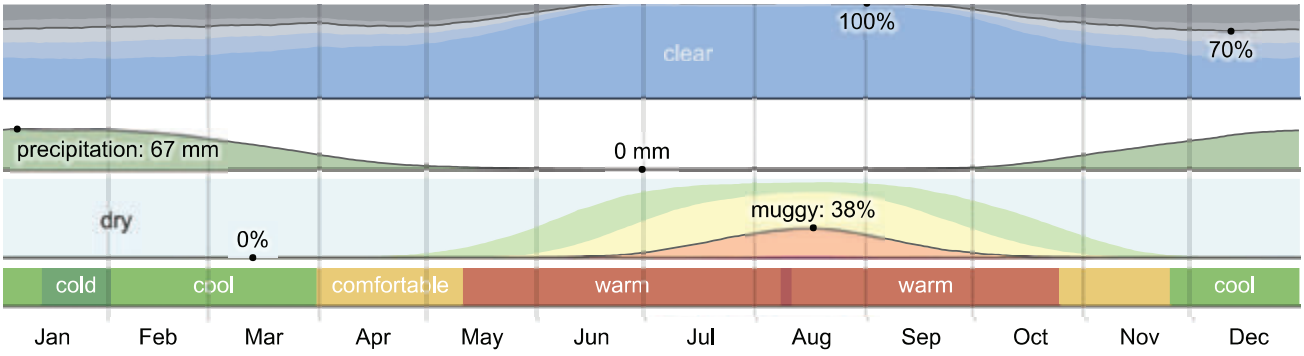



*Figure 1-55 Paramètres climatiques mensuels de Naplouse, Palestine. Valeurs exprimés en pourcentage de temps dans une même situation. Crédit : weatherspark.com - Source : NASA's MERRA-2 Modern-Era Retrospective Analysis*

*Photo 1-27 Maison traditionnelle située en bordure extérieure de la vielle ville de Naplouse. Crédit : FYu*

*Photo 1-28 Place avec constructions très massiques dans la vielle ville de Naplouse. Crédit : FYu*

*Photo 1-29 Entrée a une maison traditionnelle depuis les rues couvertes du centre ville ancien. Crédit : FYu*

*Photo 1-30 Cour intérieure d'une construction traditionnelle avec des «iwan» donnant sur la cour. Crédit : FYu*

*Photo 1-29 Ancien iwan muré pour en faire un espace protégé des intempéries. Vielle ville de Naplouse. Crédit : FYu*

*Photo 1-30 Iwan habité comme espace tampon entre l'intérieur et l'extérieur. Vielle ville de Naplouse. Crédit : FYu*

**4- Jeddah**

Deuxième ville d'Arabie saoudite et grand centre de commerce, située sur les bords de la mer Rouge. En 647, le calife Uthman a transformé en port pour les pèlerins se rendant à La Mecque ce qui était alors un petit village de pêcheurs. La ville a connu un très fort développement démographique au cours des dernières décennies, notamment en raison du développement économique qu'a connu l'Arabie saoudite. C'est aujourd'hui une métropole cosmopolite qui approche les quatre millions d'habitants. La partie ancienne de la ville a été classée au Patrimoine mondial de l'UNESCO en 2014, sous la dénominations « Ville historique de Jeddah, la porte de La Mecque ». Jeddah témoigne du développement ultime du commerce maritime de l'océan Indien après l'ouverture du canal de Suez en 1869 et l'apparition des bateaux à vapeur qui reliaient l'Europe à l'Inde et à l'Asie. Ce développement enrichit considérablement de nombreux marchands qui firent construire des maisons somptueusement aménagées, et cela conduisit également à l'essor des souks et des mosquées. De plus, l'augmentation du nombre de navires de mer permit à un nombre très accru de pèlerins de faire le pèlerinage à La Mecque, ce qui a conduit à l'augmentation du nombre de dispositifs d'hébergement pour ces visiteurs (Source : UNESCO). Jeddah a été pendant des siècles le plus important, le plus grand et le plus riche de ces établissements côtiers et aujourd'hui, est le dernier site urbain subsistant le long de la côte de la mer Rouge qui conserve encore l'ensemble des attributs de cette culture : des maisons isolées orientées vers l'extérieur, des constructions en pierre de corail, des façades précieusement décorées de bois sculpté et des dispositifs techniques spécifiques pour assurer la ventilation des bâtiments. Il représente un monde culturel qui a construit des établissements avec des solutions techniques et esthétiques spécifiques et novatrices pour s'adapter aux conditions climatiques extrêmes de la région qui sont l'humidité relative et la chaleur. Ses maisons-tours roshan sont une typologie de bâtiments unique dans le monde arabo-musulman. Leur conception esthétique et fonctionnelle spécifique – absence de cour, façades décorées de roshans (pièces en bois couramment appelés des «moucharabiehs»), pièce au rez-de-chaussée utilisée pour les bureaux et le commerce, pièces louées aux pèlerins – reflète leur adaptation à la fois au climat chaud et humide de la mer Rouge et à la spécificité de Jeddah, porte de la ville sainte de La Mecque pour les pèlerins arrivant par la mer et important pôle commercial international. Jusqu'au 1947 la ville garde ses modes de construction traditionnels : distribution urbaine organique, rues étroites, et transport principalement par des animaux. La plupart des bâtiments sont des collectifs à quatre étages construits avec la pierre de corail locale et des protection solaires en bois sous forme de moucharabieh (SANI ABDU et Al-2002).

La ville reste toute l'année sur des températures élevées et humides, et sans surprise les constructions sont très massiques mais elles ont toutes de grands percements en façades pour permettre la ventilation naturelle de nuit en été et de jour et nuit en hiver. Pour résoudre la problématique culturelle du besoin d'intimité et privacité toutes les ouvertures et les baies sont protégées par un moucharabieh qui permet à l'air de passer et d'évacuer l'humidité et la chaleur résiduelle. Une grand partie du souk de l'ancienne ville de Jeddah est couvert et ventilé. Une grande quantité de villas à une cour intérieure qui suite à l'arrivée de la climatisation et de la ventilation mécanique, ont été en grande partie couverte supprimant les anciennes stratégies pour faire face à la chaleur.

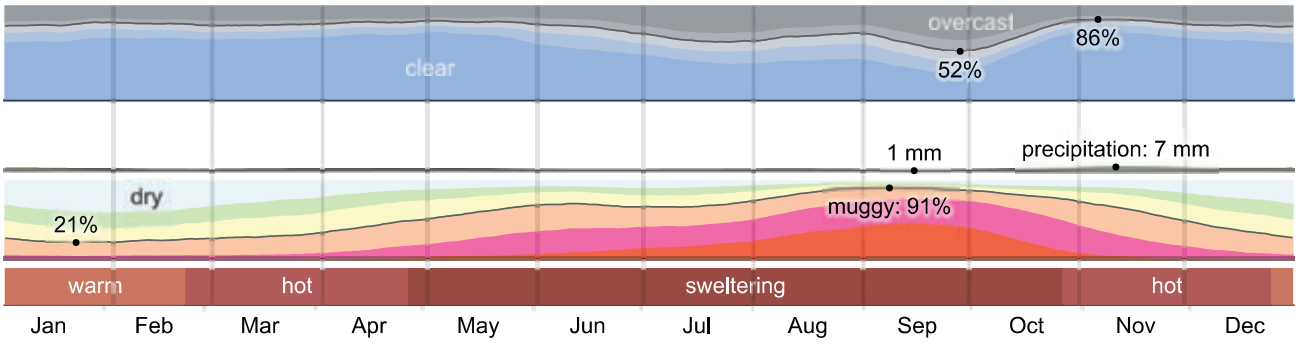



*Figure 1-56 Paramètres climatiques mensuels de Jeddah. Valeurs exprimés en pourcentage de temps dans une même situation. Crédit : weatherspark.com - Source : NASA's MERRA-2 Modern-Era Retrospective Analysis*

*Photo 1-31 constructions en pierre de corail, des façades décorées de bois sculpté et des moucharabieh pour assurer la ventilation des bâtiments. Crédit : FYu*

*Photo 1-32 Façades avec moucharabieh pour assurer la ventilation des bâtiments. Crédit : FYu*

*Photo 1-33 Façades avec protection en bois extérieur pour assurer la ventilation des bâtiments. Crédit : FYu*

*Photo 1-34 constructions en pierre de corail, des façades avec des moucharabieh pour assurer la ventilation. Crédit : FYu*

*Photo 1-35 constructions anciennes en centre ville en lien fort avec la végétation périphérique. Crédit : FYu*

**5- Dubaï**

Les découvertes archéologiques permettent de penser que des communautés de pêcheurs vivaient déjà, il y a environ 7500 ans, sur les rives du Golfe Persique à l'emplacement de Dubaï.

Mais les origines de l'Émirat remontent à 1830. Shindagha, petit village de pêcheurs, à l'embouchure de la crique, était peuplé par la tribu des Bani Yas, dirigée par la famille Maktoum, qui gouverne toujours l'Emirat aujourd'hui. En ce temps là, les nomades bédouins parcourraient le désert avec leur chameaux et les bergers survivaient dans les montagnes arides, entretenant les palmiers dattiers, là où surgissait de l'eau. Tandis que sur la côte ses activités traditionnelles se résumaient à la pêche, à la construction de boutres, des chantiers navals artisanaux typiques de la région, et à la pêche des huîtres perlières. C'est l'exploitation de ces perles fines qui va transformer Dubaï en plate-forme commerciale. Vers la fin des années 1870, le port était devenu le plus important du Golfe, attirant les marchands d'Iran, d'Inde et d'ailleurs. Au tournant du siècle, Dubaï possédait les plus beaux souks de la région. Dans les années 1940, le développement de la perle de culture japonaise fit chuter la demande en perles naturelles, première source de richesse. Mais le commerce de l'or, s'était développé et Dubaï surmonta la crise. (Source : fr.wikipedia.org et divers)

En 1966 sont découvertes les réserves pétrolières de Dubaï et en 1969 démarre leur exportation. A cette époque, 1971, les anglais se retirent de la région et que les gouverneurs d'Abu Dhabi et de Dubaï décident de fonder les Émirats Arabes Unis, UAE, sigles en anglais. Au rythme des forages et des échanges, Dubaï, ville qui se veut futuriste dans son architecture et conservatrice dans le respect des traditions bédouines tente de garder son image d'avant-garde et de centre de référence de la culture arabe du future. Par son dynamisme commercial et son statut de port franc, la ville de Dubaï s'est imposée comme la première place financière du Moyen Orient. Ses équipements hôteliers l'ont élue première destination touristique des Émirats et ses centres d'affaires rivalisent de modernité sur la place publique mondiale. Et pourtant à quelques mètres de là, des tentes bédouines poursuivent la vie commencée il y a plusieurs millénaires.

Il est fort probable que Dubaï comme plein d'autres villes du monde arabe, s'est rendu compte trop tard que il fallait trouver un équilibre harmonieux entre modernité et patrimoine. A ce jour la partie historique de Dubaï est bien maigre, constitué de quelques ruelles et de maisons-musées restaurés. Il est cependant un lieu fort agréable pour la promenade, car son architecture et son urbanisme sont pensés pour faire face aux dures conditions climatiques. Présence de cours intérieures et de tours à vent, ruelles intriquées et étroites qui se font de l'ombre entre elles. L'ancienne ville vient d'être réhabilité depuis peu et cela explique l'aspect très pittoresque des constructions. Cette opération a permis de mettre en lumière toutes les stratégies de ventilation croisé par tour à vent en fonction de la saison. Dans cet habitat le nomadisme domestique inter-saisonnier existait et des espaces en partie haute des maisons, toitures et chambres, plus exposés aux courant de vent étaient utilisés comme dortoir pour faire face à des nuits très chaudes. Les rues du souk sont couvertes et protégées du soleil tout en laissant de la ventilation importante sur les cotés. Nous avons même assisté a des scènes où les gens étaient rassemblés par dizaines dans des espaces naturellement végétalisées et non climatisés à la fin de la journée. Scènes que nous n'avons pas pu voir qu'autour des zones commerciales ailleurs dans la ville moderne où les gens jonglent entre l'extérieur et les intérieurs climatisés.

L'architecture vernaculaire de Dubaï nous a semblé plus confortable que les espaces climatisés dans les rue marchandes de la ville moderne.

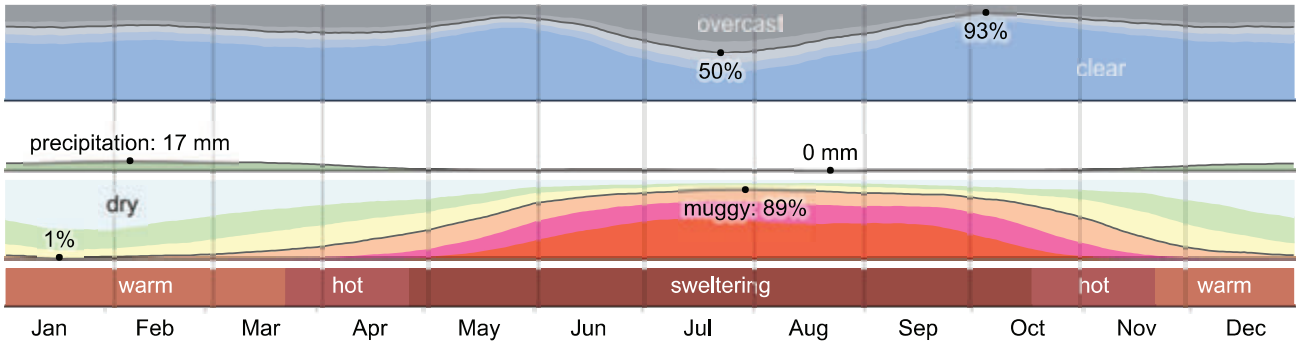



*Figure 1-57 Paramètres climatiques mensuels de Dubaï. Valeurs exprimés en pourcentage de temps dans une même situation. Crédit : weatherspark.com - Source : NASA's MERRA-2 Modern-Era Retrospective Analysis*

*Photo 1-36 Ruelle etroite de la vielle ville du port de Dubaï. Crédit : FYu*

*Photo 1-37 Rapport très intime entre ombrage, passage et végétation dans la vielle ville du port de Dubaï. Crédit : FYu*

*Photo 1-38 Tour à vent dans la «maison de Sheikh Saeed Al Maktoum» à Dubaï. Crédit : FYu*

*Photo 1-39 Rapport très intime entre façades portant l'ombre l'une sur l'autre à Dubaï. Crédit : FYu*

*Photo 1-40 Cour végétalisé dans maison traditionnelle à Dubaï. Crédit : FYu*

*Photo 1-41 Nomadisme intérieur au R+1 pour profiter du vent «maison de Sheikh Saeed Al Maktoum». Crédit : FYu*

*Photo 1-42 Occupation populaire des espaces végétalisés dans la fin de l'après-midi. Crédit : FYu*

**6- Riyad**

Aux temps pré islamiques, le site est occupé par des villages se trouvant au confluent de plusieurs oueds où l'eau souterraine est facilement accessible. Le site est connu pour ses palmeraies, ses dattes et ses vergers. Après le premier état Saoudien, et suite aux charges des ottomans contre les tribus de Riyad, George Forster Sadleir (1789–1859), officier et explorateur britannique de passage dans la région, décrit le village de Riyad, dont les remparts ont été rasés, comme étant entouré de vastes palmeraies, mais que la guerre contre les ottomans à rendu les habitants misérables (Source : fr.wikipedia.org)

D'après une étude d'ORC Worldwide pour Businessweek publiée en 2009, la ville a été élue «3$^{eme}$ pire capitale dans le monde» dont uns des éléments reproché dans cette étude est le climat avec des températures sèches et chaudes en été, et des tempêtes de sable en hiver. Même s'il n'y a pas que cela, la poussière à Riyad est un élément de forte nuisance.

La vieille ville de Riyad étant pratiquement inexistante, nous avons choisi de visiter les constructions anciennes qui pourraient mieux refléter les modes de vie en quête du confort. Le fort Masmak est l'un des icônes de la ville, construit en terre crue, avec une charpente en bois et des enduits en argile, il représente le bâti massique par excellence. Nous n'avons pas pu visiter un autre exemple de construction vernaculaire arabique qui est le palais Al Murabba toujours en terre crue et enduit d'argile et de chaux.

Dans l'habitat à Riyad, à cause de l'aridité dans l'air, la ventilation naturelle n'as pas besoin d'être très importante, à l'inverse des villes côtières comme Jeddah. Ainsi les ouvertures sont très réduites avec la possibilité de les fermer par des volets bois extérieurs, le tout entouré par des murs épais très opaques vers l'extérieur. L'utilisation de cours intérieures dans l'ancienne Médine était très répandue comme nous pouvons apprécier sur les photos d'archives. Toute la ville était organisé en carrés avec de petites cours intérieures qui permettaient de ventiler et éclairer les chambres tout en gardant une grande compacité et limitant les apports solaires sur les murs des cours intérieures.

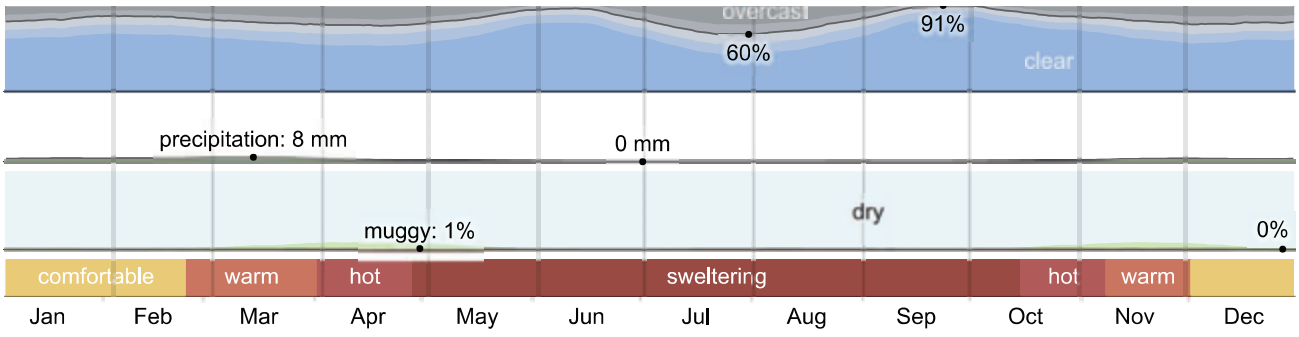



*Figure 1-58 Paramètres climatiques mensuels de Riyad Valeurs exprimés en pourcentage de temps dans une même situation. Crédit : weatherspark.com - Source : NASA's MERRA-2 Modern-Era Retrospective Analysis*

*Photo 1-43 Scènes historiques de la vielle ville de Riyad. Constructions en terre crue, sans fenêtres et toiture terrasse*

*Photo 1-44 Façade principale du fort Masmak. Crédit : FYu*

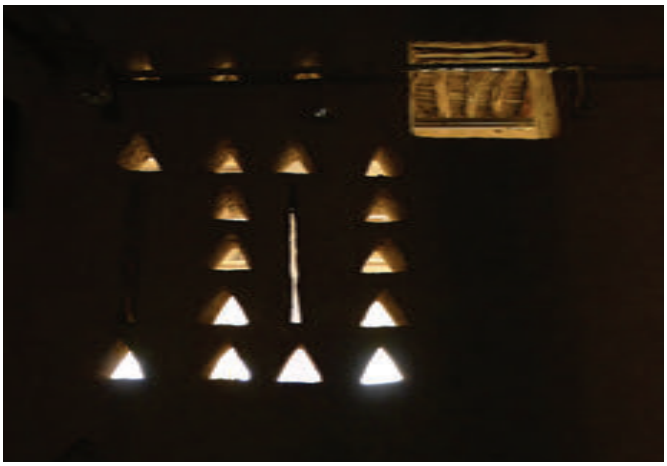


*Photo 1-45 Ouvertures pour ventilation naturelle en façade du Fort Masmak, Riyad. Crédit : FYu*

*Photo 1-46 Ouvertures en façade donnant sur cour intérieure Fort Masmak, Riyad. Crédit : FYu*

*Photo 1-47 Scènes historiques de la vielle ville de Riyad. Protection des espaces extérieurs pour améliorer le confort extérieur*

*Photo 1-48 Maquette de la vielle ville de Riyad : typologie de construction massique et très compacte avec une cour intérieure dans toutes les logements. Crédit : FYu  Source : Expo Jeddah*

### 7- Muscat-Matrah

La ville de Muscat-Matrah, l'ancienne capitale d'Oman, à quelques kilomètres de Muscat, a été longtemps exposée aux dangers de la mer, le commerce, les vents et la chaleur, elle favorise ainsi une ville compacte et fortifiée, en maçonnerie avec des ouvertures généreuses qui cherchent à évacuer l'humidité associé aux zones côtières et à favoriser la ventilation transversale de la brise thermique de la mer a proximité. Les constructions sont proches les unes des autres et s'apportent ombrage et une protection au vent direct tout en permettant l'évacuation de la chaleur par les faibles courant d'air qui s'infiltrent dans les ruelles laissant passer la brise marine pour un balayage thermique. La couleur des murs est claire, voire blanche, et les toitures plates pour permettre sans doute autrefois les nuitées sous les étoiles les jours les plus chauds de l'année. Nous n'avons vu aucune mention à la récupération de l'eau de pluie pour son utilisation ultérieure par les toiture plates. Les espaces commerciaux du souk sont tous couverts et protégés du soleil. Nous remarquons que, presque dans la totalité des ouvertures en rez-de-chaussée il existe une casquette filante en béton, tôle acier ou même fait avec le débord des étages supérieures qui permet aux ouvertures d'avoir une protection solaire très efficace. Les ouvertures des étages beneficient aussi de cette mesure parfois combinée avec des protections visuelles, ou des débords de la terrasse sur l'étage inférieur. Il semble évident que les mesures principales contre l'inconfort thermique sont la couleur blanche des murs, les ouvertures traversantes facilitant la ventilation naturelle transversale et les protections solaires au-dessus des fenêtres.

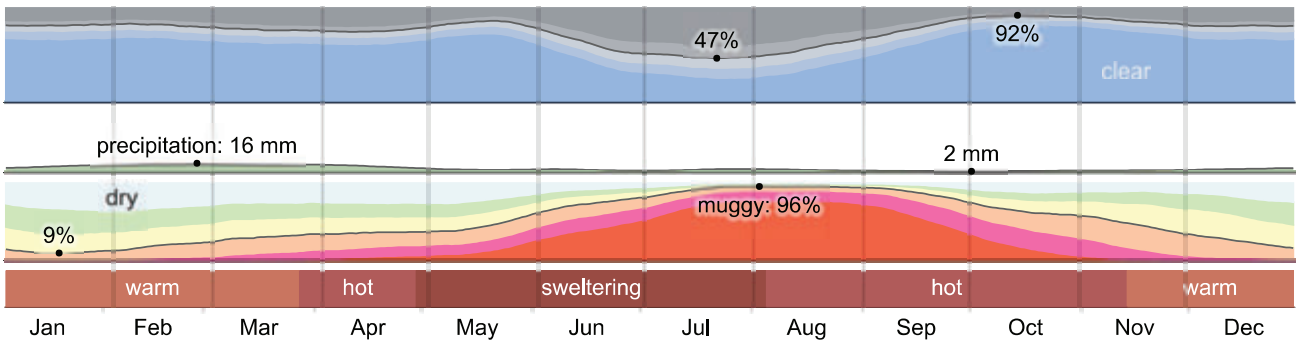



*Figure 1-59 Paramètres climatiques mensuels de Matrah, Oman. Valeurs en pourcentage de temps dans une même situation. Crédit : weatherspark.com - Source : NASA's MERRA-2 Modern-Era Retrospective Analysis*

*Photo 1-49 Rapport de proximité entre les constructions et les rochers environnants- Façades a grande majorité blanches. Crédit : FYu*

*Photo 1-50 Rapport etroit entre les ruelles de la ville de Mattrah Crédit : FYu*

*Photo 1-51 façades ouvertes avec une coursive de protection solaire et d'espace extérieur d'agrément. Crédit : FYu*

*Photo 1-52 Façades blanches et avec des ouvertures avec des filtres visuelles par grillage en maçonnerie et casquettes. Crédit : FYu*

*Photo 1-53 Refroidisseurs de climatisation en façade dans ruelle à Matrah. Crédit : FYu*

*Photo 1-54 Façades blanches avec des casquettes sur les ouvertures des espaces habitées -Mattrah Crédit : FYu*

### 8- Sour

Dans l'habitat vernaculaire que nous avons pu visiter dans la région de Sour, au sud de Muscat, Oman, nous avons trouvé deux typologies principales : la maison compacte urbaine et la maison dispersée. Dans les deux cas la plupart des constructions ont un rapport très faible avec l'extérieur. Les maisons disperses sont d'abord entourés d'une clôture opaque qui fait le tour de la parcelle, et qui autrefois servait pour garder le bétail et des outils d'agriculture et d'élevage. Aujourd'hui dans les régions où l'architecture est encore fortement influencée par le caractère vernaculaire environnant, nous retrouvons des versions d'habitat toujours entourés par des clôtures mais avec des baies vitrées plus importantes sur les façades que ce qui serait extrictement nécessaire et les appareils de climatisation en façade viennent compenser cet écart. Les centres urbains plus développés sont, comme les médinas habituelles, très compactes pour assurer une autoprotection entre les bâtiments avec des ombrages réciproques et la protection générale face au vent chaud. De ce fait la vie dans les centres urbains est beaucoup moins hostile qu'ailleurs. La trame urbaine elle-même étant très irrégulière laisse penser que c'est une conséquence initiale de la position peu planifiée des différents lots et parcelles, comme nous avons observé dans les zones disperses, et qu'elle a évoluée au fils des générations. Cette trame urbaine irrégulière et dense s'est développée pour donner lieu a une configuration qui semble bien marcher, car le vent chaud a une grande difficulté à s'introduire dans le cœur de la ville, ce qui est bien pendant les saisons chaudes mais moins bien dans les saisons tempérées où le vent n'étant pas si chaud, peut participer à des processus de refroidissement adiabatique, et notamment l'évapotranspiration humaine. C'est à ce moment de l'année que les parties de la maison plus élevées peuvent jouer un rôle de zone fortement ventilée et agréable, où des tours à vent pour introduire les courants de vent dans les maisons. Nous trouvons dans la ville de Sour moins de protections solaires par des casquettes et plus de moucharabiehs à la place.

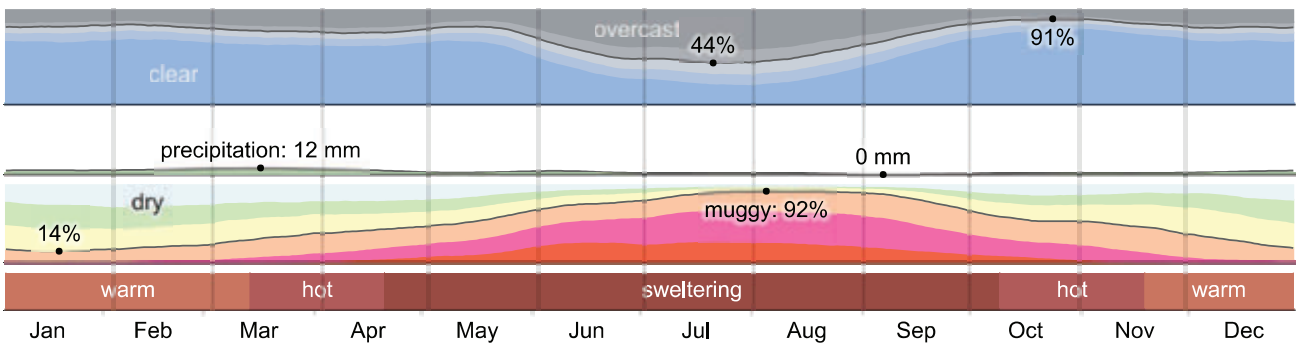



*Figure 1-60 Paramètres climatiques mensuels de Sour, Oman. Valeurs en pourcentage de temps dans une même situation. Crédit : weatherspark.com - Source : NASA's MERRA-2 Modern-Era Retrospective Analysis*

*Photo 1-55 Typologie constructive de logement avec une cour transformé partiellement en logement - Sour. Crédit : FYu*

*Photo 1-56 Largeur entre façades : la recherche des ombres portées n'est pas compatible avec captation de la brise marine. Crédit : FYu*

*Photo 1-57 Typologie constructive de logement avec une cour et pauvre rapport avec l'extérieur - Sour. Crédit : FYu*

*Photo 1-58 Bâtisse en front de mer avec un pourcentage d'ouvertures caractéristique des maisons a Sour . Crédit : FYu*

*Photo 1-59 Bâtisse en front de mer avec un pourcentage d'ouvertures caractéristique des maisons à Sour . Crédit : FYu*

*Photo 1-60 Bâtisse en front de mer avec un pourcentage d'ouvertures caractéristique des maisons à Sour . Crédit : FYu*

*Photo 1-61 Bâtisse en front de mer avec un pourcentage d'ouvertures caractéristique des maisons à Sour . Crédit : FYu*

*Photo 1-62 Rapport des maisons au front de mer à Sour . Crédit : FYu*

### 9- Tiwi et Raz-Al-Jinz

Tiwi, ville côtière du Sud Est d'Oman montre l'évolution naturelle des petits villages qui se densifient par fermeture des anciennes cours et extension des bâtisses de plain-pied vers des bâtisses à un ou deux étages. Grands nombres d'évolutions montrent que leur forme originale était celle d'un cube entouré par un mur opaque et haut. Leur rapport avec l'extérieur est relativement perméable pour favoriser le balayage de la brise marine. La proportion d'ouvertures garde un équilibre en tension entre le passage d'air, le blocage du soleil et l'intimité. Dans les constructions plus récentes, le passage d'air est plus réduit et substitué en grande partie par l'utilisation de climatiseurs. L'équilibre se fait désormais entre la vue en opposition au passage du soleil et l'intimité. Plus à l'intérieur, à 10 km de la côte nous trouvons des groupements de maisons individuelles qui montrent la genèse d'un petit centre urbain, ou les maisons isolées constituées d'une cour extérieure fermée par un mur opaque et une habitation à l'intérieur

Les constructions neuves dans cette zone montrent une évolution certes mais les formes générales continuent à être inspirées de l'architecture vernaculaire. Les systèmes de rafraîchissement sont tous intégrés dans les bâtiments avec pour la plupart un système de pompe à chaleur air-eau en toiture. Un habitacle, en forme de tourelle, donne accès à la toiture accessible et praticable avec des garde-corps en maçonnerie en prolongation de la façade. Dans presque la totalité des maisons visitées, isolation est toujours absente. Le bloc béton creux a remplacé la totalité de la construction vernaculaire en pierre et terre. Les façades sont toutes en enduit ciment extérieur et en plâtre ou enduit ciment à l'intérieur.

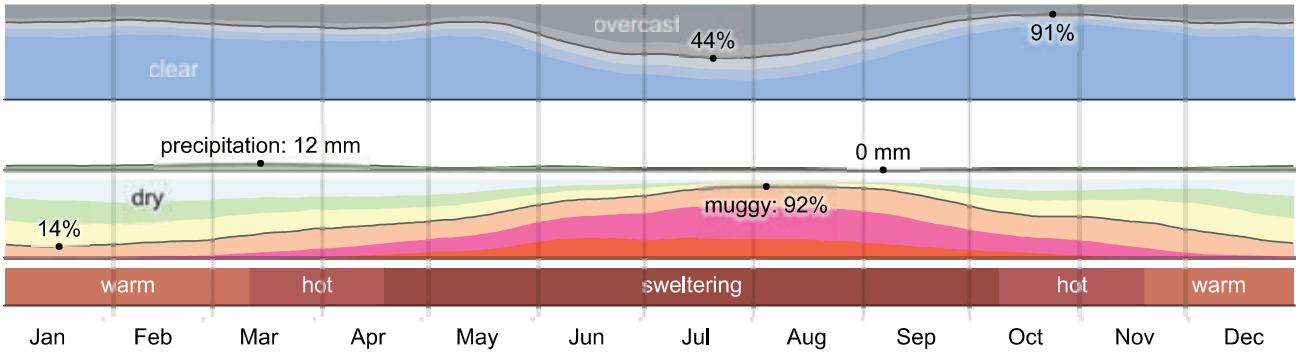



*Figure 1-61 Paramètres climatiques mensuels de Tiwi, Oman Valeurs en pourcentage de temps dans une même situation. Crédit : weatherspark.com - Source : NASA's MERRA-2 Modern-Era Retrospective Analysis*

*Photo 1-63 Bâtisses dans une ruelle du centre du village de Tiwi avec ses rapport à la végétation et façades rapprochées. Crédit : FYu*

*Photo 1-64 Ruine dans le bourg de Tiwi qui permettent de voir la composition du mur en pierre: pierres/terre/pierre. Crédit : FYu*

*Photo 1-65 Bâtisse à Tiwi: logement et cour intégrées dans un enclos. Fenêtres du R+1 larges pour capter le vent . Crédit : FYu*

*Photo 1-66 Logement de nouvelle construction a Tiwi. Crédit : FYu*

*Photo 1-67 Plusieurs ensembles de logement et cour et enclos. Typologie caractéristique de l'habitat disperse locale. Crédit : FYu*

*Photo 1-68 Ensemble de logement et cour dans un enclos. Typologie caractéristique de l'habitat disperse locale à Tiwi. Crédit : FYu*

*Photo 1-69 Ensemble de logement et cour dans un enclos. Typologie caractéristique de l'habitat disperse locale à Tiwi. Crédit : FYu*

*Photo 1-70 Ensemble de logement et cour dans un enclos. Typologie caractéristique de l'habitat disperse locale à Tiwi. Crédit : FYu*

## 1-4-2- Architecture moderne

L'architecture moderne s'est intéressé à la construction du logement en climat chaud. Et même si la question énergétique ne fut pas un des piliers de la première vague moderne, elle le fut dans la réalité des constructions inspirées par la pauvreté énergétique du contexte des cas auxquels elle s'intéressait. Voici en suivant deux exemples de cette production avec une analyse sommaire des cas et des principes utilisés pour assurer un confort et des coûts énergétiques acceptables.

### 1-4-2-1 Hassan Fathy

Il fut un architecte et chercheur très intéressé par l'architecture bioclimatique et sur l'influence que la modernité pouvait avoir sur le confort et l'habitat vernaculaire en climat chaud. Diplômé de l'École Polytechnique de l'Université du Caire en 1926, et bien qu'informé des théories du Mouvement moderne, Hassan Fathy cherche à s'ancrer dans les traditions autochtones pour mieux les dépasser; il utilise des anciennes techniques de constructions locales et ancestrales qu'il adapte aux contraintes modernes et aux besoins nouveaux de la vie contemporaine. Il dessine son premier bâtiment en brique de terre en 1930. (source: UNESCO)

Au début de sa carrière, il travaille dans le département des bâtiments scolaires. L'école de Talkha est son premier projet. Il découvre la beauté de l'architecture nubienne, qui l'enchante car, elle a son propre caractère. En 1942, il réalise la maison Hamed Saïd à Marg près du Caire. À partir de 1946, il travaille comme professeur des Beaux-Arts, à l'université du Caire. De 1953 à 1957, il exerce les fonctions de Directeur du Département d'Architecture, de la Faculté des Beaux-Arts du Caire. De 1959 à 1961, il travaille avec le ministère de la Recherche Scientifique, Programme des Nations Unies, en 1963.

Il construit le nouveau village de Bâriz dans une oasis près de Al-Kharga à partir de 1965. En 1973, avec la publication de «Construire avec le peuple» - (La Bibliothèque arabe Ed. Jérôme Martineau 1970 ; 310 pages et 132 planches), son travail est porté à l'attention internationale. Il raconte son expérience d'architecte à Gournah. Hassan Fathy travaille de près avec les gens pour adapter ses projets à leurs besoins. Il leur enseigne comment travailler avec les briques de boue, supervise la construction des bâtiments et encourage la reprise de techniques décoratives anciennes. Il est devenu un des architectes les plus marquants de sa génération, en Afrique, en démontrant qu'il est possible de construire pour les pauvres et enseignant aux gens à construire pour eux-mêmes.

Hassan Fathy a produit non seulement des réponses modernes pour l'architecture en climat chaud, mais aussi l'inspiration ; sa pensée, son expérience et son esprit constituent une ressource internationale importante. Il réalise ainsi près de 160 projets, non seulement en Égypte, mais aussi en Irak et au Pakistan.

Un des ses projets les plus connus : Le village de New Gourna (Photo 1-70). Il est situé à Louxor sur la rive occidentale du Nil, à l'intérieur du périmètre du bien du patrimoine mondial de la Thèbes antique en Égypte. Le village a été conçu et créé entre 1946 et 1952 par le célèbre architecte égyptien Hassan Fathy (1900-1989). Il a été créé pour accueillir la communauté de Vieux Gourna (Gournii), qui vivait au-dessus des tombes dans l'ancien cimetière de Thèbes et dont le relogement était la solution envisagée pour réduire les dommages subis par les tombes des pharaons. Les caractéristiques principales du village de New Gourna résident dans la ré-interprétation d'un cadre architectural et urbain traditionnel (Figure 1-61), dans l'utilisation appropriée de matériaux et techniques locaux, ainsi que dans une extrême sensibilité aux problèmes climatiques. À l'ère du mouvement moderne, il a démontré que l'on pouvait aussi atteindre des objectifs de durabilité et de cohésion sociale avec des architectures vernaculaires et des matériaux et techniques locaux. Il s'agit donc pour cette raison d'un exemple exceptionnel d'établissement humain durable et d'usage approprié de la technologie dans le domaine de l'architecture et de l'urbanisme. Ces idées (Architecture for the Poor : An Experiment in Rural Egypt d'Hassan Fathy, 1976), on inspiré une nouvelle génération d'architectes et d'urbanistes du monde entier avec l'intégration de technologies vernaculaires aux principes de l'architecture moderne. (source: UNESCO)

Dans le village de New Gouna, Hassan Fathy utilise les préceptes vernaculaires caractéristiques de la région : grande compacité urbaine et des habitats individuels, murs épais, ouvertures maîtrisées en taille et orientation tout en favorisant la ventilation transversale, une cour intérieure par logement, des terrasses pour y passer les nuits les plus chaudes de l'été, tours à vent, patios protègés, toits en coupoles et il améliore le système du capteur du vent en incorporant des plateaux de charbon de bois humidifié, ce système de refroidissement adiabatique qui abaisse la température d'une dizaine de degrés. La ventilation transversale est très bien réfléchie récupérant la fraîcheur des parties basses des bâtiments et évacuant l'air chaud par la toiture et les ouvertures supérieures. Pour chauffer les maisons ils sont re-interprétés le système de chauffage basé sur le cheminement des gaz de combustion chauds dans les chicanes des tuyaux d'évacuation. Il proposa différents «Housing Complex» dont le nº6 est le plus proche des maisons individuelles et adossées.

Nomadisme intérieur

Les cours intérieures

Les tours à vent

Les terrasse accessibles

*Figure 1-61 Extrait des plans proposés par Hassan Fathy pour Bloc 6 du village de New Gourna. Source: www.unesco.org*

*Photo 1-70 - Images de la ville de New Gourna après sa construction par Hassan Fathy. Source : www.unesco.org*

### 1-4-2-2 André Ravéreau

Né en 1919, il cumule aujourd'hui une œuvre construite et écrite qui est un manifeste en faveur d'une architecture située. Il s'est beaucoup consacré à l'étude des architectures et cultures méditerranéennes, toujours dans le souci de comparer la pertinence du geste savant à celui du savoir-faire vernaculaire. Élève d'Auguste Perret à l'école des Beaux-Arts de Paris entre 1946 et 1950, André Ravéreau reçoit l'enseignement rigoureux d'un « poète, qui parle et pense en construction » . En 1949, alors qu'il est encore étudiant, il se rend dans la vallée du M'zab, en Algérie. La visite de l'architecture mozabite est décisive dans son appréhension de la construction. André Ravéreau écrira à la suite de ce voyage le livre «Le M'zab, une leçon d'architecture ( Paris, Sindbad, collection « La Bibliothèque arabe » 1981) qui deviendra rapidement un classique. En 1965, André Ravéreau devient, sur proposition du ministère de l'information et de la culture d'Algérie, architecte en chef des Monuments historiques. Il crée en 1973, à l'aide de Naït Ali, haut fonctionnaire algérien du ministère de l'Intérieur, un second atelier, l'E.R.S.A.U.R.E. (Établissement Régional Saharien d'Architecture, d'Urbanisme et d'Environnement) plus communément appelé «l'atelier du désert». Il y voit l'opportunité de proposer un enseignement différent de celui qu'il avait reçu aux beaux-arts, basé sur l'apprentissage d'une culture constructive par la pratique, par le chantier. Bien qu'il ne s'agisse pas de protections, de nombreuses maisons furent ainsi restaurées et quelques constructions neuves réalisées dont les logements économiques de Sidi Abbaz. En 1975 il se retire en France où il s'installe définitivement. Il continue à concevoir une architecture située. C'est ainsi qu'il obtient en 1980 le prix d'architecture Aga Khan pour le centre de santé de Mopti. Puis, en 1983, la médaille d'argent de l'urbanisme lui a été décernée par l'académie d'architecture pour l'ensemble de son œuvre. C'est récemment, en 2012, qu'il a reçu la médaille du mérite de l'Algérie pour sa contribution à la valorisation du patrimoine de ce pays. Des ses propres mots, «Je me penche beaucoup sur l'architecture dite populaire . J'y trouve des subtilités constructives savoureuses, des inventions, une rigueur qui, à mes yeux, fait défaut à certaines architectures [...] [L]'architecture dite populaire est aussi savante dans la mesure où elle est le fruit d'un savoir très élaborée. » (André Ravéreau dans Vincent Bertrand du Chazaud, André Ravéreau, Maya Ravéreau, Du local à l'universel, Paris, éditions du Linteau, 2007 ) (source : www.aladar-assoc.fr). Nous avons analysés deux de ses projets phares : La villa «M» des villages de la valle du M'Zab, Algérie et l'ensemble collectif du Sidi Abbaz

La villa «M» (Photo 1-71), conçue par André Ravéreau en cohérence avec les traditions de la vie ibadite, principalement conduites par le climat, et la religion. La construction, disposant en tout de 700m2 de plancher, comporte plusieurs niveaux. Au rez-de-chaussée (Figure 1-62) se trouvent le «west ed-dar», l'espace central de vie pour les heures les plus chaudes des jours d'été, le «aali», salle de prière, un bureau, des entrées séparées pour les hommes et les femmes et, de part et d'autre de la piscine, plusieurs jardins et salles de séjour. Un système de portes crée des espaces privés nécessaires aux hommes et aux femmes. Les deux étages supérieurs sont organisés autour de patios ouverts et de terrasses flanquées de galeries qui constituent autant d'espaces de vie répondant à l'usage mozabite. Ainsi, le premier étage accueille notamment une salle de prière pour les femmes. D'un côté, il y a la maison familiale proprement dite. L'autre côté est entièrement occupé par «la douira», la maison des invités, dans le respect de la tradition. La cour d'accès est située sur l'espace central, suivie de la piscine. Celle-ci est prévue en élévation de telle manière qu'elle puisse se vider naturellement, selon la pente, pour irriguer le jardin au fond. Par un système de fermeture amovible, la piscine est accessible soit aux invités, soit à la famille. Depuis «la douira», il n'y a pas de point de vue sur la piscine alors qu'il en existe du côté familial : les femmes ne doivent pas être vue des étrangers mais ont toute licence de les voir. Dominant l'une des salles des hommes en double-hauteur, un moucharabieh permet aux femmes d'observer les réunions masculines et même d'y participer oralement, ce qui n'est en rien interdit par les préceptes religieux. À la différence des moucharabieh du projet de la poste, ceux de la villa s'ouvrent sur les espaces privés du jardin ; ceux-ci sont alors suspendus au dessus de la fenêtre, en console, afin de conserver une vue plongeante entièrement libre, tout en protégeant l'intimité de la famille des espaces publics lointains.

Les matériaux ont été choisis parmi ceux que le marché local proposait : pierres, blocs de ciment, poutrelles de béton armé et voûtains de plâtre. En conclusion, la maison, d'une manière systématique, évite les fenêtres dans les façades sur rue. Les sources de lumière sont recherchées dans les lieux inaccessibles aux regards extérieurs : les jardins, les cours et les terrasses. Le moucharabieh remplit son rôle de filtre visuel et brises-soleil. Le chauffage en hiver est assuré par la circulation d'eau chaude. En été les murs les plus exposés sont munis d'un système de murs masques qui bloquent le soleil et gardent une lame d'air entre le masque et le mur porteur. Ce système sera aussi utilisé pour Sidi Abbaz (Figure 1-64) . La maison n'est pas équipée de système actifs de refroidissement.

Sidi Abbaz, se situe à l'est de Ghardaïa, dans la vallée du M'Zab. Les constructions se trouvent au pied d'une colline offrant un panorama sur Bounoura, ville historique de la vallée du M'Zab vers le Sud et sur une palmeraie à l'Est. Il s'agit d'une vingtaine de logements en extension de la ville, elle même composée de rues étroites ponctuées de placettes plantées de palmiers.

L'étroitesse des rues (Figure 1-65) tempère l'échauffement des murs. Dans certains types de logement, une chambre se développe sur rue pour former un passage couvert (Figure 1-63), une solution bénéfique

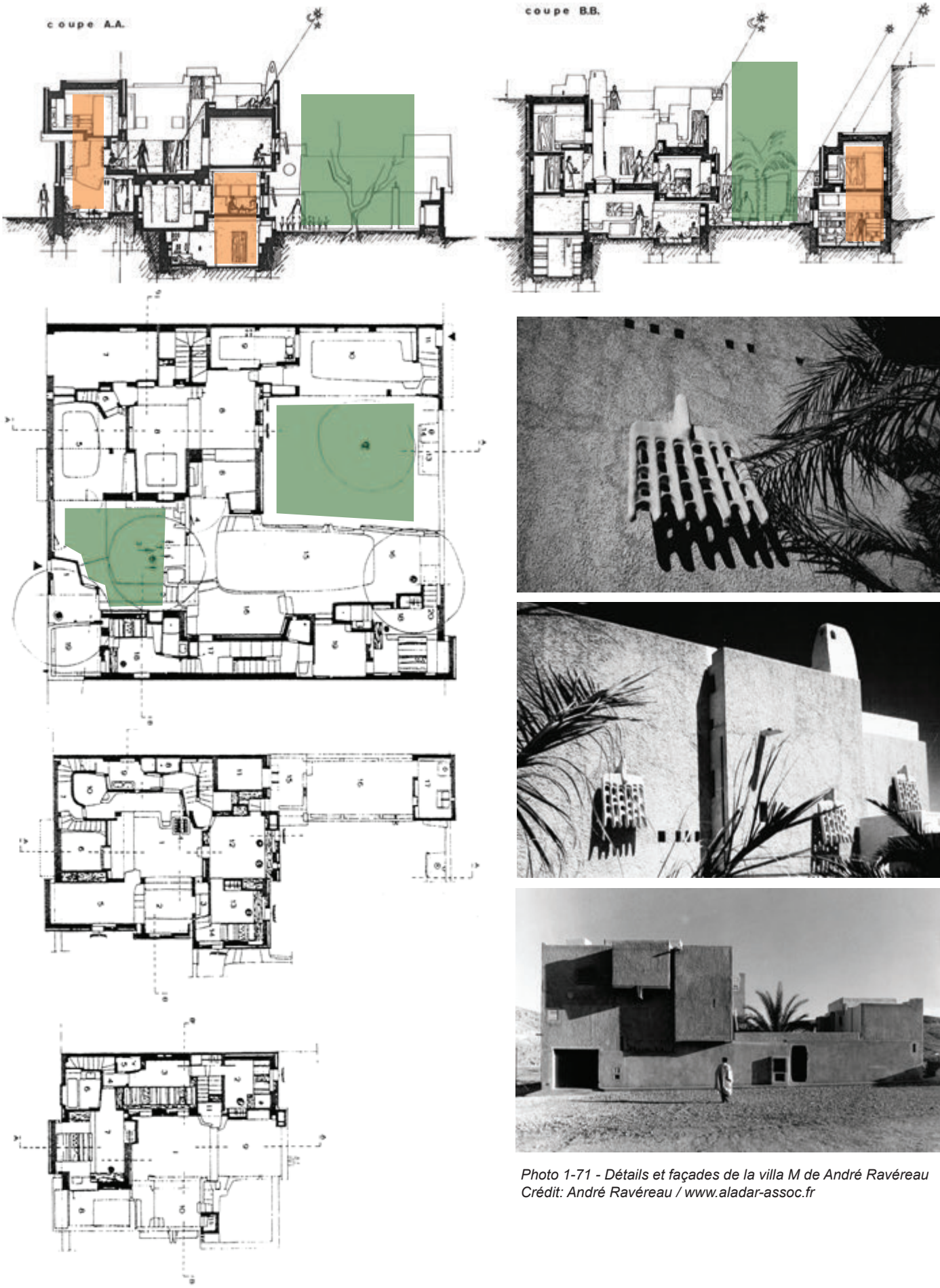



*Figure 1-62 Plans et coupes de la villa M de André Ravéreau.*
*Crédit: André Ravéreau / www.aladar-assoc.fr*



*Photo 1-71 - Détails et façades de la villa M de André Ravéreau*
*Crédit: André Ravéreau / www.aladar-assoc.fr*

pour apporter de l'ombre à la circulation des piétons sous la chaleur. Les logements proposés par Ravéreau reproduisent les rapports intérieur/extérieur propres à la coutume mozabite. Au rez-de-chaussée, on trouve la «sqiffa», l'entrée en chicane qui permet de laisser la porte ouverte tout en arrêtant les regards indiscrets ; des accès au séjour sont différenciés, et peuvent être séparés par une cloison modulable. À l'étage, on retrouve la terrasse favorable au sommeil en été, bordée d'un auvent, «l'ikomar», et protégée, côté rue, par un mur d'acrotère. Aucun espace couvert ne reçoit pas la lumière directe du soleil. A l'origine de son projet, les ouvertures n'avaient pas de vitrages, on voit comment l'évolution actuelle des standard de confort, l'accès à l'énergie et le prix accessible de la climatisation invitent, obligent même, aux propriétaires d'installer des unités de climatisation. La Terrasse décrite précédemment constitue la couverture de la cuisine, placée à mi-niveau, permettant ainsi de servir indifféremment le rez-de-chaussée ou l'étage, selon la saison ou l'heure : la terrasse les soirs d'été ou le midi en hiver et le rez-de-chaussée lorsque le soleil est trop fort pour être dehors. Les matériaux de construction sont les mêmes que pour la villa M. vue précédemment. La plupart des unités possèdent trois murs mitoyens et ne disposent que de peu d'ouvertures sur leur façade. La hauteur de construction n'excède pas sept mètres soixante, et la taille des fenêtres est limitée à 1 m2. Une protection thermique accrue fut obtenue via la construction d'un double mur extérieur aux niveaux supérieurs, mur-masque, et grâce au percement d'ouvertures dans le toit et dans le plafond, permettant une bonne circulation de l'air.

Ravéreau dans son système de mur ventilé (Figure 1-64) propose une lame d'air verticale qui décharge le mur de sa chaleur emmagasinée en utilisant le gradient thermique du vide. Son système est très simple, la brique du mur principale fait 20x20x40cm et celle du mur extérieur pour faire la protection contre l'ensoleillement a des briques plus fines de 5x20x40cm. Cette paroi mince est connectée au mur principal par des briques transversales toutes les trois rangées. Finalement le mur fait 5cm de brique+15cm de lame d'air+20cm de brique. Cette méthode proposé avec des briques standard et accessibles à tous aide à réduire fortement la transmission de l'ensoleillement sur le mur intérieur. La lame d'air peut donner à l'extérieur ou a l'intérieur en fonction du rôle «garde-corps» du mur extérieur et donc de la disponibilité de résistance mécanique. (Source : www.aladar-assoc.fr).

*Figure 1-65 Plan de masse de la maison Sidi Abbaz*
*Source: André Ravéreau*

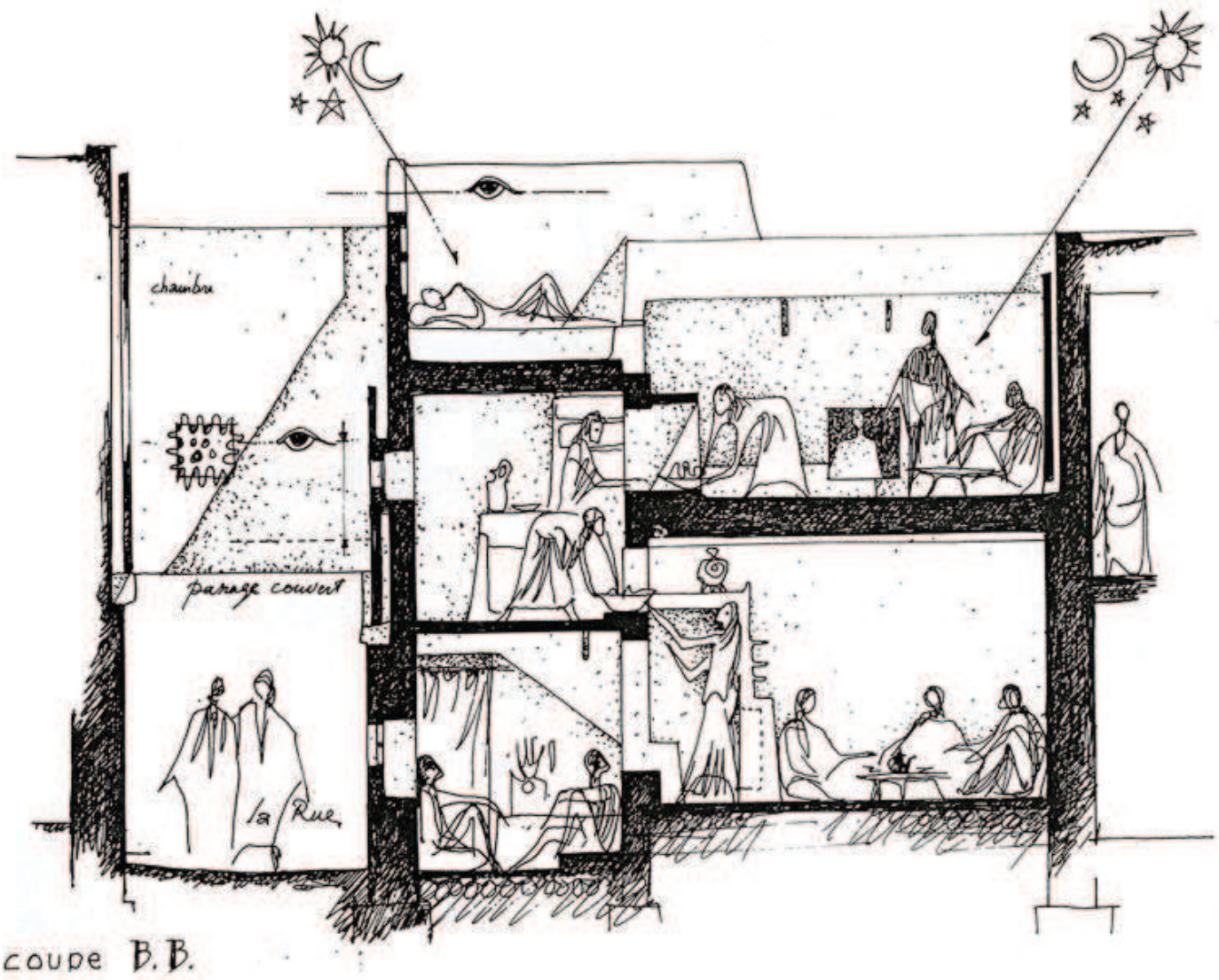



*Figure 1-63 Coupe de la maison Sidi Abbaz de André Ravéreau avec le rapport à la rue, des espaces extérieurs en toiture et le murs exposés au soleil avec une lame d'air ventilée.*
*Crédit: André Ravéreau / www.aladar-assoc.fr*

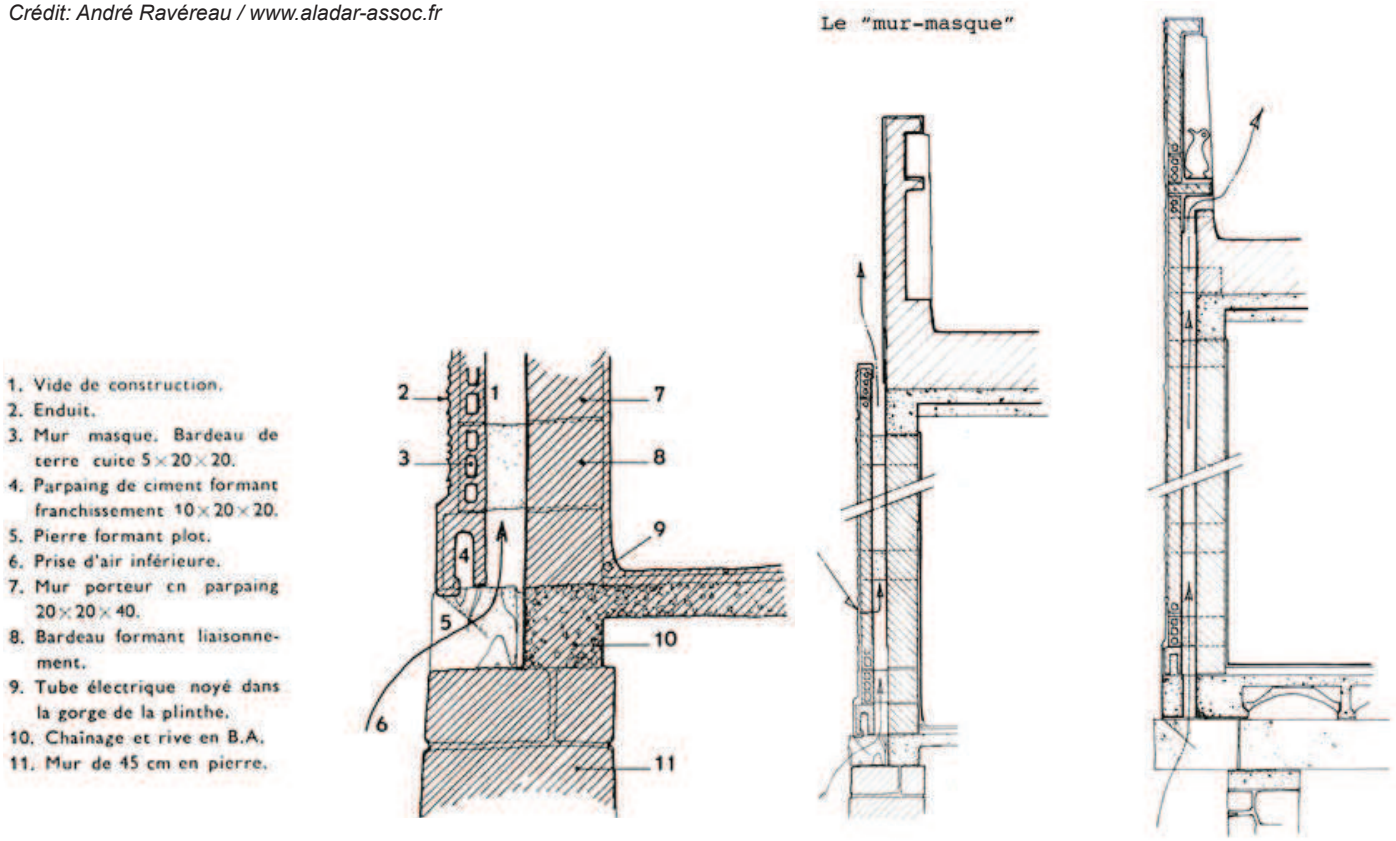



*Figure 1-64 Coupes de détail de la ventilation de la double peau du mur extérieur exposé au soleil avec un calepinage de briques standards.*
*Crédit: André Ravéreau / www.aladar-assoc.fr*

### 1-4-3- Architecture contemporaine

Aujourd'hui dans tous les pays du Moyen Orient, et le nord de l'Afrique, y compris des pays africains francophones comme le Sénégal, ou le Cameroun, la typologie la plus répandue sans appel est celle qui correspond aux bâtiments à étages, allant de plain-pied à R+10 en ossature en béton armé du type poteau-poutre et plancher unidirectionnel en hourdis avec un remplissage des murs systématique en bloc béton enduit. La migration du savoir-faire de la maçonnerie traditionnelle vers une maçonnerie de blocs de béton, est relativement simple, voir simpliste, et c'est pour cette raison que les artisans dans tous ces pays se trouvent à l'aise avec ce système. Le prix accessible du ciment et des blocs en béton, et son inertie relative, bien que moindre en comparaison à l'ancien système en maçonnerie en pierre et terre. Le même système est reproduit avec plus ou moins de succès dans tous ces pays, aucun autre système ne semble pouvoir actuellement lui faire concurrence. De nombreux textes montrent que l'architecture dite internationale actuelle n'est pas contre les principes bioclimatiques, voici un exemple dans les discours introductifs des guides de conception anglo-saxons (CIBSE 2014) «.. ainsi la forme architecturale d'un bâtiment lui-même fait disparaître d'emblée multitude de problèmes liés à la consommation énergétique et au confort dans le bâtiment. Par exemple des cours intérieurs bien conçues, peuvent donner une bonne protection contre la poussière et le vent chaud. […] Des mesures passives comme l'orientation au soleil et au vent, l'usage de tours à vent, de l'eau en évaporation, la ventilation croisée, des murs de grand déphasage thermique, sont des stratégies passives qui sont toujours accessibles à bas coût. ». En terme de stratégie thermique dans les bâtiments actuels l'air conditionné est aujourd'hui en situation de monopole comme système de refroidissement dans les maisons de toutes les classes sociales des pays chauds. Son efficacité énergétique, COP, sa puissance, son entretien fait l'objet d'une myriade d'études et de comparatifs, et nous considérons qu'aujourd'hui les pays très chauds ont développé une expertise importante dans ce type de système, que nous ne souhaitons pas mettre en question dans le cadre de cette étude. Cependant, nous allons analyser les dispositions architecturales associées à l'usage de ce type d'équipement. Le principe des unités de climatisation est simple, un refroidisseur, un système de distribution et une unité de diffusion. Les plafonds des maisons sont souvent des plafonds plats et relativement massiques pour faire face à la chaleur. Ces toitures sont alors bien adaptées pour héberger toute sorte d'équipement technique extérieur, et notamment les ventilateurs et les refroidisseurs des équipements d'air conditionné. Ces équipements doivent partager l'espace habituellement avec d'autres comme les chauffe-eaux solaires, les antennes paraboliques, les arrivées d'eau, gaz etc... (CIBSE 2014). Le problème de cette proposition est que les refroidisseurs sont en toiture et doivent refroidir à partir d'un air qui est très chaud car exposé au soleil et non protégé. La question de la bonne position de la prise de l'air se pose. Mettre le refroidisseur dans un lieu protègé du soleil peut entraîner des pertes de charge de froid par le transport jusqu'à la maison au vu des températures extérieures. Dans des tours au-delà de 50 m d'hauteur, la question du transport du liquide refroidissant devient limitant à cause de la pression hydrostatique du liquide dans les tuyaux. Ainsi, les grandes tours sont équipées d'étages techniques intermédiaires espacés tous les quinze étages environ. Ces étages permettent d'installer à l'intérieur tous les refroidisseurs. Dans les projets que nous avons visités les niveaux fonctionnent comme un grand refroidisseur composé de tout un ensemble d'individuels. Nous ne l'avons pas vu en fonctionnement mais il est probable que la température de l'air dans ces étages intermédiaires soit très élevée, et donc à nouveau la question de la prise d'air se pose. Des mesures secondaires comme l'isolation thermique entre ces niveaux et les appartements au-dessus et en dessous doit être traité de façon systématique, même si c'est n'est pas ce que nous avons vu sur place. Il est fort intéressant de remarquer que les bâtiments, récents et en cours de construction dans la grande majorité des cas, que nous avons visités n'ont pour protection solaire que des rideaux roulants extérieurs, des rideaux intérieures opaques ou un vitrage avec un facteur solaire bas. Cependant nous n'avons pas encore vu des systèmes de brises-soleils fixes qui remplissent le rôle des moucharabiehs des anciens bâtiments collectifs qui bloquaient le soleil avant qu'il ne soit pas encore à l'intérieur du logement sans bloquer pour autant la vue de l'extérieur depuis l'intérieur. L'utilisation de brises-soleils extérieurs (CIBSE 2015) est une excellente option en termes de réduction des apports solaires, même si elle réduit aussi l'éclairement naturel et son prix peut être très rapidement difficile à justifier. Dans ces latitudes, le soleil est tellement haut que dans les fenêtres verticales au sud, une bonne partie de la radiation est rejetée du fait des angles d'incidence très faibles (équations de réflexion de Fresnel-CIBSE 2015).

#### 1-4-3-1- Visites urbaines de l'architecture contemporaine du Moyen Orient

Nous avons visité les constructions nouvelles et récentes de plusieurs villes du Moyen Orient afin de se sensibiliser avec le savoir faire local actuel. Les villes comportent des zones concentriques, de l'hyper-centre à la périphérie urbaine lointaine. Nous avons constaté que ce sont les centres qui sont très différents les uns des autres et que plus nous nous éloignons du centre plus les typologies commencent à se rassembler. Les centres urbains de Dubaï, Jéricho ou Muscat sont très différents, tandis que la périphérie de toutes ces villes montrent des typologies qui se rassemblent beaucoup : bâtiments a un étage, cours intérieur avec enclos, construction en maçonnerie, protection extérieur par volets bois.. etc.

*Photos 1-72 - Architecture récente visitée  dans le cadre de cette étude, de l'hyper-centre à la périphérie. Crédit : FYu*

**1- Naplouse**

Après les années soixante, la construction traditionnelle a donné lieu à une construction basée sur des techniques de construction internationales. Sous l'administration jordanienne, après la guerre de 1948, la ville a accueilli un grand nombre de réfugiés palestiniens provenant des régions en conflit militaire avec Israël en 1967. Les réfugiés se sont concentrés dans trois camps autour de la ville de Naplouse : le camp d'Ein Beit al-Maa», à l'Ouest et les deux autres à l'Est, Balata et Askar. L'arrivée des réfugiés a entraîné une augmentation de la population qui a ainsi doublé. Cela a entraîné une demande accrue de logements et le besoin d'utiliser des techniques de construction plus industrialisées capables de fournir grand nombre de logements en peu de temps. L'augmentation des activités industrielles et de transports résulte de la forte densité de la population et de logement. Dans le cadre du Plan Local de l'Urbanisme de 1963 les limites territoriales de la ville ont été élargies et des logements collectifs, la solution la plus efficace pour loger le plus grand nombre de familles, ont commencé un essor qui ne s'est pas encore arrêté. Seulement un creux de production a eu lieux suite à la guerre de 1967. La Cisjordanie est soumise à l'occupation militaire d'Israël,et l'urbanisation et la construction doivent se conformer aux lois israéliennes. La planification en mains des autorités militaires s'est fortement ralentie. Aujourd'hui, la municipalité de Naplouse d'accorde des permis de construire selon les règlements d'urbanisme jordaniens qui ne sont pas adaptés à la morphologie des villes palestiniennes, ceci pousse parfois les Palestiniens en périphérie des villes à construire par eux-mêmes des constructions spontanées. L'application des règlements d'urbanisme jordaniens a eu une grosse influence sur la vieille ville de Naplouse où se mêlent aujourd'hui bâtiments anciens et bâtiments contemporains. Aujourd'hui la construction ne fait plus appel à son savoir-faire traditionnel. L'état des lieux de la ville de Naplouse montre que les constructions traditionnelles sont de plus en plus abandonnées faute de rénovation. Cela conduit bien souvent à une démolition en vue d'un projet d'habitat neuf en lieu et place. Même le centre historique rempli de bâtisses semblables a des palais aux volumes généreux ne trouvent pas d'utilisateurs voulant les rénover et les mettre en conditions thermiques acceptables. Les habitants lors de nos visites se plaignaient des problèmes de remontés d'humidité et des pièces difficiles a chauffer sûrement dû aux courants d'air, aux faibles apports solaires en hiver, à la grande masse thermique des habitations en pierre et des ponts thermiques. Les familles s'orientent donc vers de la construction neuve. Le modèle familial dominant dans la ville de Naplouse (Maher Abu Saleh-1998), et par extension aussi Ramallah est celui de la famille nucléaire (85,6% des familles de Naplouse), avec une population jeune (40.2 % des habitants ont moins de 15 ans). La surface moyenne des logements dans la ville, qui atteint jusqu'à 125 mètres carrés, est plus élevée que la surface moyenne des logements dans les autres villes de la Cisjordanie. Le prix d'un logement à Naplouse de 129 m² est de 45273 euros (Abushosha-2013). Si le revenu moyen par mois des ménages de Naplouse est de 500 euros, il faut 25 ans pour acquérir un logement.

Ces bâtiments récents, sont tous en ossature en béton armé, et placage en pierre sans isolation, La réglementation urbaine à Naplouse et Jéricho est très restrictive d'ailleurs sur l'utilisation d'autres matériaux que la pierre et le vitrage en façade pour les constructions neuves, par contre la réglementation n'impose rien en termes de performance thermique des parois, ainsi seulement les villa les plus aisées l'incluent. Nous avons pu visiter deux types clairement prédominants dans la zone : des appartements dans des immeubles collectifs qui s'inscrivent dans une logique urbaine de densification de la ville. Ils se développent sur les flancs principaux de la vallée. Ils ont tous une allure similaire comme s'il agissait d'une seule et même opération de promotion immobilière, mais, c'est juste le règlement d'urbanisme et la pénurie d'accès à une grande variété de matériaux de construction qui amène cette homogénéité. Nous trouvons aussi une deuxième typologie qui est celle des maisons individuelles isolées dans des quartiers périphériques de la ville, souvent à flancs des collines environnantes dans un modèle américain d'accessibilité à toute activité dehors de la maison en voiture. Les revêtements de ces maisons est le même que celui des bâtiments collectifs, la pierre collée à un mur en béton armé et bloc béton à l'intérieur.

**2- Jéricho**

La ville reste encore très étendue et la typologie de bâtiment collectif n'est pas encore très présente, celles des maisons individuelles beaucoup plus répandue. Aucun des bâtiments collectifs visités n'avaient de couche d'isolation dans les murs, et les maisons individuelles montraient qu'en fonction du budget les isolations pouvaient aller jusqu'à 3 cm d'épaisseur en XPS.

**3- Ramallah**

Ramallah, capitale diplomatique de Cisjordanie, est plus ouverte a l'architecture internationale. Les logements collectifs sont aussi répandus qu'à Naplouse, mais visiblement les règles d'urbanisme et éventuellement le budget et la culture architecturale permettent la production des logements aux allures différentes tout en restant dans un principe de massivité, à quelques exceptions près (Photo 1-78)

*Photo 1-73 Quartier de logements à Naplouse. Crédit : FYu*

*Photo 1-74 Visite maison individuelle à Naplouse. Crédit : FYu*

*Photo 1-75 Commerce et logements à Jéricho. Crédit : FYu*

*Photo 1-76 Visite maison individuelle à Jéricho. Crédit : FYu*

*Photo 1-77 Quartier de logements à Ramallah. Crédit : FYu*

*Photo 1-78 Bâtiment contemporain à Ramallah. Crédit : FYu*

*Photo 1-79 Logements collectifs à Ramallah. Crédit : FYu*

*Figure 1-66 Évolution du premier plan urbain de Jeddah de 1962 à nos jours. Source: ONU et Google Maps*

**4- Jeddah**

Le mur d'enceinte de la vieille ville fut démolie en 1947 pendant la période du premier boom pétrolier, 1945-1956, et puis la ville reste sous une progression urbaine lente jusqu'au deuxième boom en 1973. Sa population passe alors à 25000 personnes. Le premier plan urbain de Jeddah à vu le jour en 1962 et fut proposé par l'urbaniste Dr. Makhlof sous la surveillance de l'ONU (Sani Abdu et Al-2002). Les principales configurations urbaines de Jeddah furent déterminées par ce plan : l'organisation linaire, l'emplacement de l'aéroport, la position des principales voies motorisées, les anneaux périphériques et l'aménagement de la Corniche, qui est la zone côtière de Jeddah. Sa population passe de 25000 hab. en 1945 à 600 000 hab. en 1974 et plus de 1000 000 hab. en 1983. Les évolutions en nombre et type de logements à Jeddah (Al-Otaibi - 2004) montrent que l'usage de logements en bâtiments collectifs sont passés de 28% en 1970 à 68% en 2002 (pourcentage dans l'ensemble des typologies). Les maisons individuelles de 4% à 11% en détriment des maisons traditionnelles qui passent de 51% à 20%. Ces maisons traditionnelles sont des maisons de plain-pied avec une cour intérieure ouverte construites avec des matériaux traditionnels ou modernes. Les tailles des logements varient et en moyenne de 2,6 chambres en 1970 à un pic de 5,7 chambres en 1977 pour redescendre à 4,6 chambres en 2002, (Beeah, 2001). D'après nos visites les bâtiments collectifs ont une configuration très massique avec une organisation urbaine qui laisse entre deux collectifs accolés un vide de 3 m. Ce vide non accessible permet sur les façades des bâtiments qui y donnent l'installation d'appareils de climatisation et d'équipements techniques. Les rues sont ainsi organisées avec une alternance de rues passantes et rues techniques. Cette organisation fait que les bâtiments ne reçoivent le soleil direct que sur une seule façade exposée, qui est celle qui donne sur la rue (Photo 1-80). Les autres trois permettent la ventilation transversale et le bénéficie de la lumière diffuse de l'extérieur sans ensoleillement direct. Nous retrouvons aussi des bâtiments vitrées à usage de bureaux, où le confort à l'intérieur est fortement dépendant des systèmes de climatisation et du facteur solaire des vitrages. En Arabie Saoudite, les constructions doivent suivre le Saudi Building Code qui est la réglementation constructive de référence dans le pays, dans ce document les performances énergétiques des bâtiments sont bien définies: les valeurs de l'isolation thermique varient selon la valeur des degrés-jours de chauffage ou refroidissement, une mention à l'étanchéité à l'air est faite sous forme de l/s/m2 sous les conditions d'une norme américaine à 300 Pa de différence pour tester les menuiseries, et no la jonction entre les menuiseries et l'enveloppe, en revanche il n'y a pas de référence à la valeur de l'étanchéité à l'air globale.

| Degree Days | Maximum | Minimum | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Glazing *U*-Factor W/m² · K | Ceiling *R*-value | Exterior wall *R*-value | Floor *R*-value | Basement wall *R*-value | Slab perimeter *R*-value and depth | Crawl space wall *R*-value |
| 0-279 | Any | R-2.3 | R-1.9 | R-1.9 | R-0 | R-0 | R-0 |
| 280-559 | Any | R-3.3 | R-1.9 | R-1.9 | R-0 | R-0 | R-0.7 |
| 560-829 | Any | R-3.3 | R-1.9 | R-1.9 | R-0 | R-0 | R-0.9 |
| 830-1109 | Any | R-3.3 | R-1.9 | R-1.9 | R-0.9 | R-0 | R-0.9 |
| 1110-1389 | 5.11 | R-3.3 | R-1.9 | R-1.9 | R-0.9 | R-0 | |
| 1390-1669 | 3.98 | R-4.6 | R-1.9 | R-1.9 | | | |
| 1670-1949 | 3.98 | R-4.6 | | | | R-1.23, 0.6 m | R-2.8 |
| 1950-2219 | | | | R-3.3 | R-1.76 | R-1.23, 0.6 m | R-2.8 |
| | | R-6.7 | R-2.8 | R-3.3 | R-1.9 | R-1.4, 1.2 m | R-2.8 |
| 4730-4999 | 2.39 | R-6.7 | R-2.8 | R-3.3 | R-2.8 | R-1.4, 1.2 m | R-2.8 |
| 5000-7229 | 2.39 | R-6.7 | R-2.8 | R-3.3 | R-2.8 | R-1.9, 1.2 m | R-2.8 |

*Figure 1-67 Extrait du tableau des prescriptions des performances minimales de l'enveloppe d'une maison individuelle adossée à une autre sur un seul coté-Cas ou les ouvertures sont inférieures à 8% de la surface verticale totale. Source: Saudi Building Code*

*Photo 1-80 Quartier de logements à Jeddah. Source: Google*

*Photo 1-81 Vide technique entre collectifs à Jeddah. Crédit : FYu*

*Photo 1-82 Espaces verts urbains a Médine. Source: Google*

*Photo 1-83 Bâtiment contemporain à Riyad. Crédit: F. Yusta*

*Photo 1-84 Hotel proche de la Grande Mosquée à Medine. Crédit : FYu*

*Photo 1-85 Quartier dense R+3 a Riyad. Source: Google*

*Photo 1-86 Maison individuelle à Riyad. Source: Google*

**5- Médine**

La ville de Médine contient le deuxième lieu sacré de l'islam, la Tombe du Prophète Mahomet, et qui subi des modifications urbaines pendant le dernier demi-siècle difficiles à concevoir dans notre culture occidentale, avec plus de 500 000 visiteurs par jour qui cherchent à se loger et se déplacer au rythme des prières. La Mosquée du Prophète qui héberge la tombe représente le centre de la ville, une ville qui est en mouvement et évolution permanente non par son expansion mais par ses processus de démolition et reconstruction des infrastructures récentes. Dans ce mouvement très dynamique des logements et des hôtels, nous ne pouvons que regarder la typologie des hôtels récents qui s'empilent autour de la Mosquée. Ces bâtiments collectifs d'aspect extérieur très massif ont une faible proportion de ouvertures, et pour certains sont isolés par l'extérieur. Nous retrouvons la même organisation urbaine dans les bâtiments collectifs récents qu'à Jeddah (Photo 1-82), vide de construction importante entre deux bâtiments annexes. Les maisons individuelles et les petits collectifs en périphérie de la ville montrent un rapport plein-vide important avec des espaces urbains, des places, avec une densité moindre qu'à Jeddah. La configuration de trois façades protégées et une exposée est aussi un point commun avec Jeddah

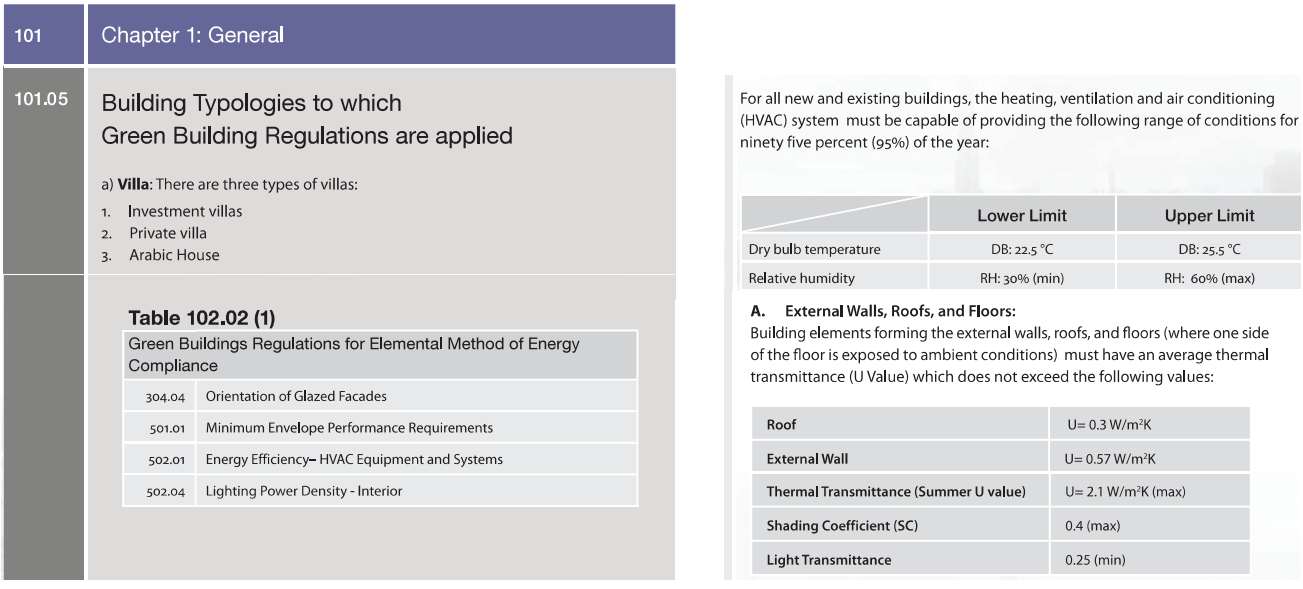
**6- Ryadh**

Les bâtiments collectifs a Riyad sont organisés de façon moins dense qu'a Jeddah ou Médine (Photo 1-85). Ils ont un socle qui prend la totalité de la parcelle sur lequel les logements collectifs viennent monter avec des retraits variables et parfois importants. Les logements des petits collectifs et parfois des tours émergent des socles comme des corps isolés à faible compacité. Ces bâtiments en tour de grande hauteur se situent le long de l'axe principal de la ville entre la route 35M et Olaya Street. En dehors de cette frange emblématique de la ville le plan urbain est constitué de grands carrés contenant entre 900 et 3600 parcelles avec des bâtiments de hauteurs variables entre le R+1 à R+4. Au centre de chacun de ces carrés se trouvent les mosquées.

**7- Dubaï**

Le développement urbain de Dubaï est un phénomène à part à l'échelle mondiale. Si toutes les villes arabes des pays de l'OPEP ont vu leur population et leur urbanisme exploser, Dubaï a su savoir mettre en place une stratégie urbaine et architecturale particulièrement efficace en termes de communication. Dubaï a profité d'un besoin structurelle d'infrastructure de logements pour accueillir grand nombre de population qui ne travaille dans l'industrie du pétrole mais dans les services. Il est nécessaire de le rappeler : Dubaï est l'un des emirats les plus pauvres en gisement de crue et de gaz, ainsi il a dû viser ses investissements avec une stratégique alternative au reste des émirats. Dans sa course efreinée vers les innovations toujours de pointe afin de maintenir la marque «Dubaï» toujours en haut des classements internationaux : métro aérien, la tour la plus haute de la planète, des îlles artificielles, des plages climatisées... .

Néanmoins, Dubaï a subi une grosse crise immobilière en 2008 et a du demander aux émirats voisins une aide financière pour échapper à un crack financier certain. La situation semble s'être normalisé et la municipalité a mis en place des plans pour améliorer la qualité de sa construction et la performance énergétique de son parc immobilier, comme la réglementation «Green Building» qui oblige tous les nouveaux bâtiments



| 101 | Chapter 1: General |
|---|---|
| 101.05 | Building Typologies to which Green Building Regulations are applied |

a) **Villa**: There are three types of villas:

1. Investment villas
2. Private villa
3. Arabic House

**Table 102.02 (1)**

| Green Buildings Regulations for Elemental Method of Energy Compliance | |
|---|---|
| 304.04 | Orientation of Glazed Facades |
| 501.01 | Minimum Envelope Performance Requirements |
| 502.01 | Energy Efficiency– HVAC Equipment and Systems |
| 502.04 | Lighting Power Density - Interior |

For all new and existing buildings, the heating, ventilation and air conditioning (HVAC) system must be capable of providing the following range of conditions for ninety five percent (95%) of the year:

| | Lower Limit | Upper Limit |
|---|---|---|
| Dry bulb temperature | DB: 22.5 °C | DB: 25.5 °C |
| Relative humidity | RH: 30% (min) | RH: 60% (max) |

**A. External Walls, Roofs, and Floors:**

Building elements forming the external walls, roofs, and floors (where one side of the floor is exposed to ambient conditions) must have an average thermal transmittance (U Value) which does not exceed the following values:

| | |
|---|---|
| **Roof** | U= 0.3 W/m²K |
| **External Wall** | U= 0.57 W/m²K |
| **Thermal Transmittance (Summer U value)** | U= 2.1 W/m²K (max) |
| **Shading Coefficient (SC)** | 0.4 (max) |
| **Light Transmittance** | 0.25 (min) |

*Figure 1-68 Extrait de la «Green Building Regulations-Dubaï». Articles 101-102-402 et 501*

*Photo 1-87 Quartier de gratteciels bureaux centre de Dubaï.*
*Crédit: F. Yusta*

*Photo 1-88 Logements collectfis classe moyenne à Dubaï*
*Crédit : FYu*

*Photo 1-89 Gratteciels residentiels en périphérie de Dubaï.*
*Crédit: F. Yusta*

*Photo 1-90 Logements collectfis classe moyenne à Dubaï*
*Crédit : FYu*

*Photo 1-91 Bâtiments residentiels centre ville Sharjah.*
*Crédit: F. Yusta*

*Photo 1-92 Espacement réduit entre logements collectifs*
*Crédit : FYu*

*Photo 1-93 Tours de logements et bureaux en front de mer de Sharjah.*
*Crédit: F. Yusta*

*Photo 1-94 Quartier residentiel de classe moyenne Sharjah*
*Crédit : FYu*

à respecter une série de mesures dans la construction des bâtiments collectifs, maisons arabiques et toute autre type de maison individuelle. Ces mesures (Figure 1-68) régulent notamment les paramètres de confort, Tª-HR, la performance thermique de l'enveloppe et les valeurs minimales d'étanchéité à l'air. Selon ces valeurs réglementaires les murs et les toitures devraient être isolés respectivement avec une épaisseur de 6 cm et 12 cm minimum d'un isolant aux performances habituelles de conductivité thermique de 0,035 W/mK comme le XPS qui sont selon l'article 501.05 d'une valeur maximale de 10 $m^3/m^2h$. Cette mesure ne s'applique cependant pas à toutes les constructions mais aux grands immeubles avec une charge de climatisation supérieure à 1 MW, toute les autres constructions doivent seulement maîtriser les éléments basiques d'étanchéité à l'air (double portes d'entrée collectives...etc). Ces mesures sont bien évidement très faibles pour une étanchéité à l'air satisfaisante. De ce fait la construction que nous avons observée est massive, faiblement isolée pour la plupart des logements collectifs récents. Aux formes plus complexes que les bâtiments collectifs de l'Arabie Saoudite, sûrement influencé par la vente aux investisseurs pour attirer la location par des citoyens expatriés de classe moyenne supérieure qui sont très présents à Dubaï et très absents en Arabie Saoudite. Les bâtiments de grande hauteur, et les tours, à cause de leur besoin de légèreté ont des contraintes plus fortes et le système structurel varie au niveau des façades et de l'omniprésence d'un grand noyau dur au coeur du bâtiment en voiles de béton armé. Le système périphérique au noyau dur reste celui des planchers unidirectionnels avec une table de compression en béton, et des poteaux et poutres aussi en béton armé. Cette grande structure stratifiée par les différents planchers, vient recevoir des murs rideaux vitrés ou opaques plaqués contre les nez des planchers.

**8- Sharjah**

De typologie similaire à celle de Dubaï, la densité du bâti en tour ou en barre de grande hauteur est très important à Sharjah, les bâtiments sont collés les uns aux autres (Photos 1-91 et 1-92) sans autre réflexion que le respect des retraits des limites des parcelles établies par la réglementation urbaine. En termes de protection solaire cette disposition est très efficace, cependant la lumière naturelle, la vue et l'architecture souffrent de cette proximité.

**9- Muscat**

Les nouvelles constructions en Oman, et l'urbanisme d'une façon générale restent très humbles en comparaison aux pays voisins, les Émirats ou l'Arabie Saoudite. En effet Oman n'est pas un pays riche en énergie, à part du solaire et du gaz, ainsi, une sobriété énergétique se ressent dans tout le pays avec un taux d'immigration plus bas que celui de ses voisins OPEP. La pays combine une culture locale très riche et une prise de conscience du patrimoine bâti existant, de ceci résulte une façon d'habiter cohérente à leur culture : les typologies et les implantations au sol basses rarement dépassant les R+3 (Photos 1-95 à 1-98) . La partie moderne de la ville de Muscat est donc bordée de maisons de plain-pied, villas à R+1 ou R+2, distribuées le long des routes et des promenades. Il s'agit donc d'une ville très étalée avec l'omniprésence de la voiture. Cependant ce fût sur la ville de Muscat que nous rencontrions les premières vraies importantes promenades le long des plages urbaines, où les gens se baladent vraiment sans l'animation de centres commerciaux. Nous avons l'impression de retrouver un usage de la ville et de ses espaces urbains qui nous est familier.

**10- Sour**

Les nouvelles constructions qui se produisent dans la ville de Sour, sont très proches d'une architecture vernaculaire (Photos 1-99 à 1-101), ce qui dans la région est connu comme maison arabe: maison individuelle avec une cour propre intérieure ou enfermée par une clôture qui créé un ensemble maison-cour-cloture. Ces constructions ont un faible ratio ouvertures/murs, grande compacité, protection solaire des ouvertures combinée avec un objectif d'intimité. L'architecture internationale n'a pas trop percé pour l'instant dans cette région (Photo 1-102).

*Photo 1-95 Maison en construction en périphérie de Muscat.*
*Crédit: F. Yusta*

*Photo 1-96 Maison en construction en périphérie de Muscat.*
*Crédit: F. Yusta*

*Photo 1-97 Maison vernaculaire en périphérie de Muscat.*
*Crédit: F. Yusta*

*Photo 1-98 Confrontation de styles en périphérie de Muscat.*
*Crédit: F. Yusta*

*Photo 1-99 Maison dans quartier périphérique à Sour.*
*Crédit: F. Yusta*

*Photo 1-100 Maison dans quartier périphérique à Sour.*
*Crédit: F. Yusta*

*Photo 1-101 Maison traditionnelle dans quartier périphérique à Sour.*
*Crédit: F. Yusta*

*Photo 1-102 Maison récente dans quartier périphérique à Sour.*
*Crédit: F. Yusta*

## 1-4-3-2- Visites des logements en construction au Moyen Orient

Nous avons réalisé plusieurs visites des maisons en cours de construction de niveau «classe moyenne haute», tous les exemples montrent comment le souci de l'isolation thermique et le confort est présent dans la construction de qualité mais n'est pas encore très maîtrisé.

**1- Villa Matrah, Oman - État : en construction - client : privé classe moyenne basse**

La maison se situe dans le centre ville de l'ancienne capital d'Oman, Old Muscat (ou Matrah), elle est donc dans la médina de l'ancienne ville. Sa visite est intéressante 'a nos yeux car elle montre l'état de la construction ordinaire sous un climat très chaud et humide. Le montage du projet est organisé par un cabinet d'architecture qui produit des plans validés par la ville. Les éléments qui sont generalement exigés sont : la structure, une forme architecturale acceptable, son implantation dans la parcelle et l'isolation sur la toiture. Les fondations sont en semelles isolées et l'ossature principale est en poteaux et poutres en béton armé. Le remplissage des murs extérieurs se fait en bloc béton creux de 15 cm (Photo 1-103) enduit de deux cotés mais sans isolation. Les fenêtres sont mises en tunnel traitant l'étanchéité à l'eau avec un fond de joint et un mastic.

*Photo 1-102*

*Photo 1-103*

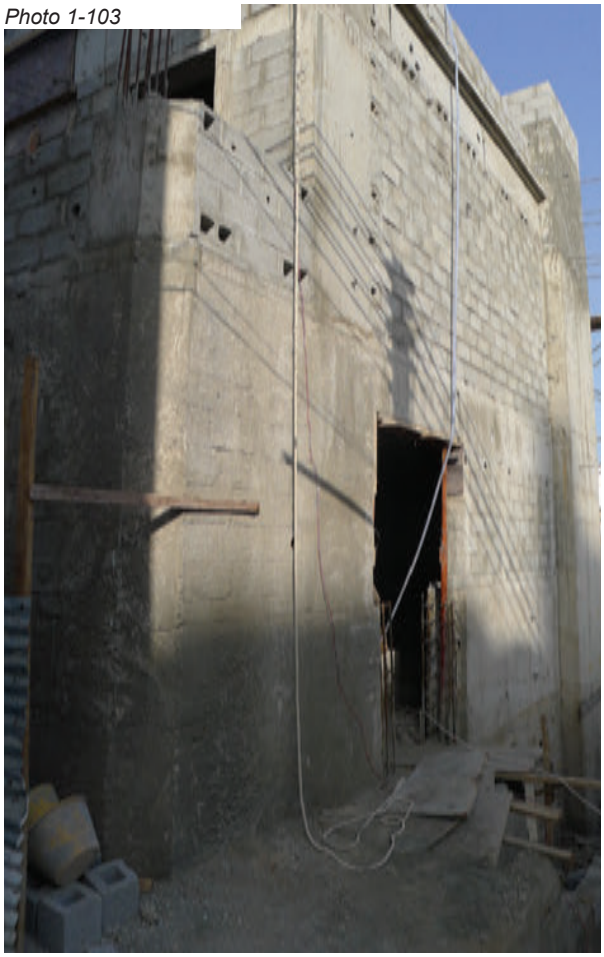


*Photo 1-104*

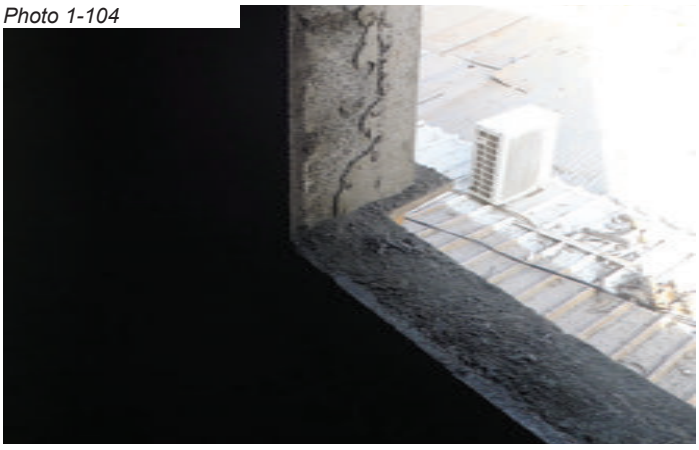


*Photo 1-105*

*Photo 1-106*

*Photos de 1-102 à 1-106 Ville en construction traditionnelle à Matrah, Oman. Client privé*

Tous les planchers sont en poutrelles en béton armé et voûtains en bloc creux avec une table de compression. Ce mode constructif est le plus répandu dans la région, voir tout simplement le seul utilisé.

**2- Villa Dubaï - État : en construction - client : privé**

Cette villa est destinée a une famille dont le père est médecin. La maison est très massive avec un plancher bas en béton armé et des planchers en pré-dalles précontraintes aux étages (Photo 1-110), ce qui nous parait très étonnant comme mode constructif au vu de la faible portée, et qui nous invite à penser que l'ingénierie du projet est peut être un peu faible. La caractéristique principale de cette maison est que les murs sont constitués d'un module préfabriqué sous forme de bloc à bancher, dont une de ces faces est isolée (Photo 1-108), ce qui permet d'avoir l'isolation soit à l'intérieur ou soit à l'extérieur. Dans notre cas le client avait choisi une isolation par l'extérieur. Ce fut la première fois et la dernière que nous avons vu une maison isolée par l'extérieur à Dubaï. L'épaisseur des isolants est de 7 cm qui est la valeur demandée par la réglementation en vigueur. Le pourcentage d'ouvertures est de 27%, et les menuiseries en double vitrage avec des baies coulissantes (Photo 1-111) sans aucun joint élastique pour assurer une bonne performance de l'étanchéité à l'air

*Photo 1-107*

*Photo 1-108*

*Photo 1-109*

*Photo 1-110*

*Photo 1-111*

*Photo 1-112*

*Photos de 1-107 à 1-112  Ville en construction à Dubaï. Client privé*

### 3- Villa Sharjah - État : en exposition - promoteur: DAMAC

Ce projet nommé «Branded Home at AKOYA» est une maison de luxe classe moyenne haut de gamme, elle est très massique avec un isolation apparemment présente mais que cependant le vendeur ne savait pas nous dire plus à cet regard. Le prix de la maison est proche de 3 M€ mais malgré cela, dans le processus de vente rien n'est annoncé concernant la performance de la maison. Au vu de l'équipement en toiture (Photo 1-115), la maison semble ne pas avoir besoin d'une grande puissance frigorifique, mais ceci nous ne pouvons pas l'affirmer car elle n'est pas utilisée au quotidien et donc le besoin de renouvellement d'air est bien moindre que dans le cas d'une maison habitée. Nous avons été informés à l'oral que la maison remplit les standards minimaux exigés en performances thermiques: isolations des murs et de la toiture, mais nous ne pouvons pas l'affirmer car cela n'est montré nulle part. Les baies coulissantes en double vitrage (Photos 1-114 et 1-117) nous laissent imaginer que la performance d'étanchéité à l'air n'est pas optimale. VMC simple flux avec prise d'air dans les pièces humides, et avec un circuit intégré en climatisation qui dessert toutes les pièces de vie, même si ceci n'est pas un circuit en double flux avec de la récupération thermique, il permet d'apporter de l'air neuf dans certaines pièces sans avoir recours à l'ouverture des fenêtres. Cependant la prise d'air chaud se fait en toiture très exposé au soleil, donc les températures de l'air rentrant sont très hautes

*Photo 1-113*

*Photo 1-114*

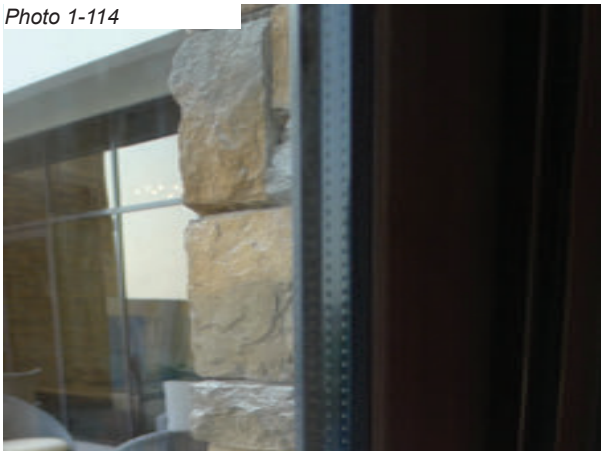


*Photo 1-115*

*Photo 1-116*

*Photo 1-117*

*Photo 1-118*

*Photos de 1-113 à 1-118 Ville de luxe vitrine d'une opération immobilière à Sharjah, UAE. Client: Damac*

**4- Villa Jéricho - État : en construction - client : privé**

La villa Bakri est aussi une maison de luxe classe moyenne haute caractéristique de la population palestinienne qui a réussi avec l'export/import. Elle se situe dans les plans autour la ville de Jerico dans un habitat dispersé  mais avec une densité grandissante. La maison est construite selon les habitudes de construction palestiniennes: couche d'isolant mince de 3 cm confinée entre un bloc de béton enduit en plâtre à l'intérieur et  du béton armé structurel avec de la pierre collée à l'extérieur (Photo 1-122). Cette composition d'enveloppe confère à la maison une inertie considérable et une bonne régulation hygrothermique. Les menuiseries sont, comme dans tous les autres cas, des châssis coulissants (Photo 1-121), ce qui implique de facto une mauvaise étanchéité à l'air autour des fenêtres, si ce point pouvait être amélioré, le reste de la maison aurait la possibilité d'obtenir une haute performance grâce au traitement en plâtre intérieur sur le bloc en parpaing et la couche extérieure en béton armé qui laissent une faible marge aux fuites et donc aux déperditions. La forme extérieure est pleine de rentrants et de sortants et donc une compacité faible.

*Photo 1-119*

*Photo 1-120*

*Photo 1-121*

*Photo 1-122*

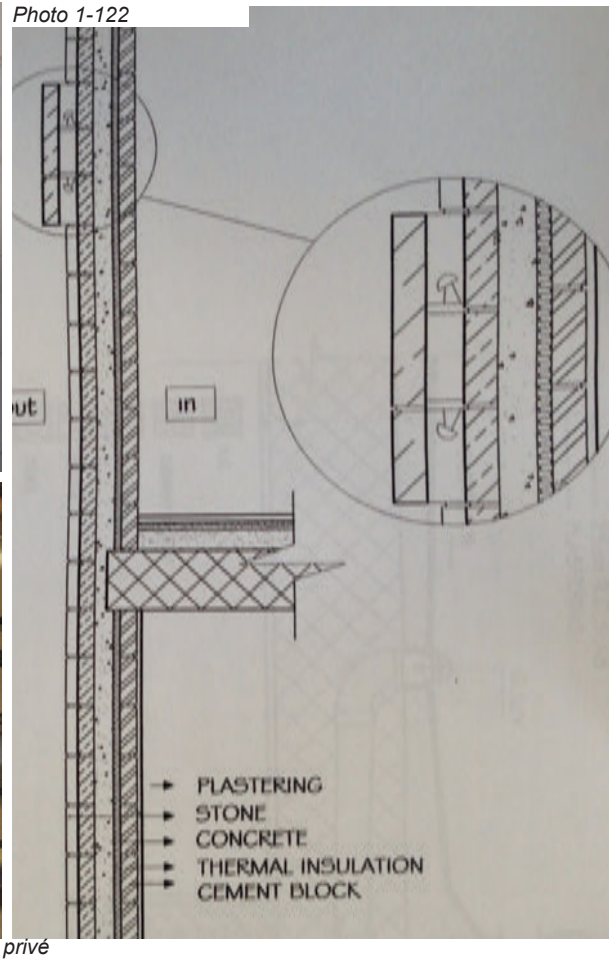



*Photo 1-123*

*Photos de 1-119 à 1-123 Ville en construction à Jéricho, Palestine. Client privé*

**5- Tour résidentielle avec bureaux à Sharjah - État : en construction - client : promoteur privé**

Cette tour se veut la plus haute de la ville de Sharjah, qui devra dépasser les 224 m de hauteur. Il s'agit d'une opération d'investissement privé mélangeant les usages de tertiaire en RdC, bureaux dans les premiers niveaux et du logement sur les derniers niveaux. La production de froid se fait dans des locaux techniques intermédiaires (Photo 1-132 à 1-135) où sont placés tous les équipements de climatisation qui tournent en permanence et créent une température très élevée dans cet étage même si il est ventilé. Le liquide froid est transporté aux échangeurs dans les appartements. L'air de chaque logement est refroidi au contact avec le liquide caloporteur (Photo 1-134), mais il n'est pas renouvelé, car la climatisation ne fait que refroidir l'air vicié en le recyclant à l'intérieur de la maison. La prise d'air neuf des logements se fait en ouvrant les menuiseries, ou juste par les fuites de l'enveloppe. L'extraction de l'air vicié se fait dans les pièces humides. Les parties communes étaient climatisées par un système indépendant. Nulle part il y a la récupération de la fraîcheur de l'air vicié. La structure est composée d'un coeur de circulation ainsi que des murs de refend dans les appartements en béton armé. Le reste de la structure est en poteau-poutre et les façades ont un remplissage en parpaing et puis elles ont un mur rideau métallique avec les menuiseries intégrées à la structure secondaire du mur rideau. Il y a une jonction supposée étanche entre le mur rideau et le mur en maçonnerie de la façade

*Photo 1-124*

*Photo 1-125*

*Photo 1-126*

*Photo 1-127*

*Photo 1-128*

*Photo 1-129*

*Photos de 1-124 à 1-130 Tour mixte logements et bureaux en construction à Sharjah, UAE. Client : Investisseur privé*

a niveau des ouvertures, mais ceci reste un détail très délicat et, à notre avis, pas du tout abouti. Le niveau de finition des détails constructifs étaient douteux sur plusieurs plans et notamment concernant l'enveloppe, comme par exemple une perméabilité a l'air chaud extérieur très importante car il n'existe aucune mesure pour assurer une étanchéité à l'air et les espacement entre structure et enveloppe sont très importants ce qui implique des courants parasites importants entre l'extérieur et l'intérieur. L'isolation est très mince derrière les cassettes d'aluminium du mur opaque, 6 cm, avec des nombreux pont thermiques comme dans les sous-faces des balcons qui seront cachés plus tard par les façades en aluminium non isolé (Photo 1-126 et 1-127). La façade en maçonnerie derrière de l'isolation est qui joue réellement le rôle de pare-vapeur mais au vu de sa position dans l'enveloppe, de la condensation doit se produire au contact entre ce mur froid et l'air chaud et humide qui peut s'infiltrer à travers les points faibles d'isolation. Pour éviter ce phénomène il nous semble que les murs en maçonnerie sont traités avec une peinture bitumineuse sur la face extérieur contre l'isolant (Photo 1-129). D'une façon générale, nous sommes étonnés de voir un tel investissement potentiellement perdre de sa valeur pour une mise en oeuvre améliorable des éléments constructifs.

*Photo 1-130*

*Photo 1-131*

*Photo 1-132*

*Photo 1-133*

*Photo 1-134*

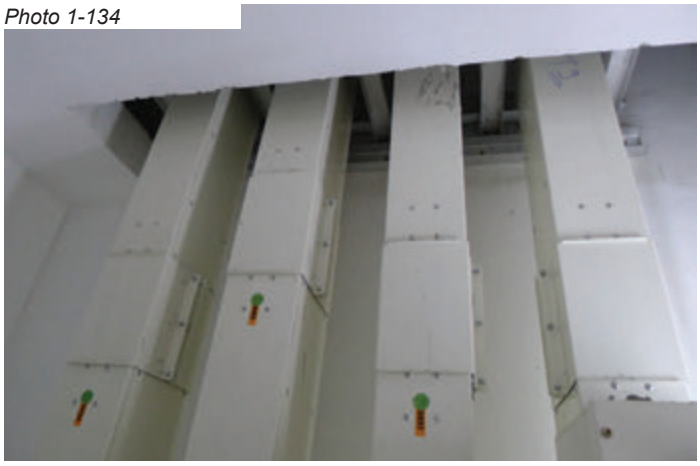


*Photo 1-135*

*Photos de 1-131 à 1-135 Détails de la production et distribution frigorifique dans la tour de Sharjah, UAE. Client : Investisseur privé*

**6- Villa à Naplouse - État : en construction - client : promoteur privé Moayan**

Ce fut notre première visite d'un bâtiment en construction en Palestine. Cette maison présente toutes les caractéristiques des maisons de classe moyenne haute des familles qui quittent le centre ville pour aller habiter les crêtes des collines autour de Naplouse (Photo 1-136): aspect sobre avec une ouverture des surfaces vitrées de 15%, façade en pierre apparente collée au mur par un mur en béton faiblement armé qui remplit les vides entre le parement intérieur en maçonnerie en bloc béton (Photo 1-138). Cette méthode constructive permet d'intégrer une fine couche d'isolant en XPS de 3 cm d'épaisseur (Photo 1-139 et 1-140). La toiture a une couche d'isolant de 10 cm d'épaisseur. Le sol n'est pas isolé. La structure porteuse est elle en poteaux-poutres avec des planchers en poutrelles en béton armé et des hourdis allégés avec table de compression. Toutes les partitions intérieures sont en maçonnerie en blocs béton de 10 cm prévus avec un enduit en plâtre. Le renouvellement de l'air se fait par l'ouverture des fenêtres en été et en hiver, et pas d'extraction de l'air vicié par une VMC.

*Photo 1-136*

*Photo 1-137*

*Photo 1-138*

*Photo 1-139*

*Photo 1-140*

*Photos de 1-136 à 1-140 Villa en construction à Naplouse, Palestine. Client : privé avec architecte*

**7- Villa à Naplouse - État : en finitions - client : privé avec architecte**

Cette maison dont le propriétaire est de nationalité étrangère habitant à Naplouse, était en état de finition. Ceci nous a permis de mieux comprendre les attentes des utilisateurs quand aux finitions intérieures. Les murs en maçonnerie sont enduits de plâtre sur les faces visibles à l'intérieur de la maison, ce qui assure une excellente étanchéité à l'air des parties opaques (Photo 1-141). Toutes les menuiseries sont coulissantes sans joints élastomères efficaces contre les infiltrations (Photo 1-144). La constitution de l'enveloppe est identique aux autres maisons visitées: pierre apparente, béton faiblement armé, isolant mince de 3 cm en XPS et maçonnerie enduite. Un ascenseur intérieur est prévu pour relier les étages, la cage d'ascenseur ne semble pas avoir une autre fonction de prévue comme une tour à vent. Les équipements de stockage d'eau potable sont sous les combles ainsi que les unités PAC de refroidissement et chauffage (Photo 1-145). Un réservoir d'eau chaude par chauffe-eau solaire est connecté aux unités PAC. Cet espace est ventilé par des grilles latérales (Photo 1-143), mais il nous semble insuffisante dans des périodes de forte chaleur. La maison n'a pas de protection extérieure au soleil autre que des volets roulants avec des coffres à l'intérieur, ce qui produit des ponts thermiques et des fuites d'air importants. Cette maison appartient au même lotissement que la villa habitée que nous avons aussi visitée. Elles ont des propriétaires appartenant à une classe moyenne aisée dans la ville de Naplouse.

*Photo 1-141*

*Photo 1-142*

*Photo 1-143*

*Photo 1-144*

*Photo 1-145*

*Photos de 1-141 à 1-145 Maison individuelle en finitions avant réception à Naplouse, Palestine. Client : privé avec architecte*

**8- Villa habitée à Naplouse - État : en usage - client : privé**

Maison de classe moyenne haute avec des espaces intérieurs très soignés (Photo 1-147). Maison très massique avec un ventilation par double flux sans échangeur thermique, avec production du froid par des pompes à chaleur air eau et distribution par des diffuseurs muraux intégrés dans le plafond (Photo 1-148). L'ossature principale est en béton armé poteau poutre avec un remplissage en complexe bloc - béton - pierre sans isolation. Les menuiseries sont en aluminium sans rupteur de pont thermique et coulissantes. La maison a une grande exposition Ouest, pour des raisons architecturales et passagères, avec une protection solaire par des volets roulants extérieurs. Capteurs solaires pour l'eau chaude sanitaire. De par ses ouvertures en grande partie Sud-Ouest cette maison est très vulnérable dans les mois d'été, car la seule façon de bloquer le soleil est la fermeture extérieure des volets roulants avec un baisse importante du confort lumineux. Un sas en verre à été construit et orienté NE ce qui lui permet en été de rester à l'ombre la plupart du temps. La toiture est protégée juste sur un portion qui permet de protéger les équipements de froid (Photo 1-150), ceci permet une prise d'air plus frais que dans le reste de la toiture exposée au soleil.

*Photo 1-146*

*Photo 1-147*

*Photo 1-148*

*Photo 1-149*

*Photo 1-150*

*Photos de 1-146 à 1-150 Ville habitée a Naplouse, Palestine. Client : privé avec architecte*

**9- Bâtiment collectif à Naplouse - État : en construction - client : promoteur privé avec architecte**

La visite de ce bâtiment collectif nous confirme bien que l'isolation thermique dans l'habitat en Palestine reste dans l'imaginaire collectif un luxe seulement à proposer pour les villas haut de gamme. Aucune isolation alors pour les deux bâtiments collectifs visités à Naplouse (Photo 1-155). Ce premier, conçu par l'architecte M. Marwan montre que les choix constructifs structurels restent les mêmes que pour les maisons individuelles : Système poteau-poutre avec un remplissage des murs extérieurs avec le complexe bloc béton - remplissage béton armé - pierre collée apparente (Photo 1-153). Les planchers sont composées des hourdis sur des poutrelles en béton armé (Photo 1-152). Les protections solaires de ce bâtiment seront des volets roulants encastrés sur les menuiseries. Le renouvellement de l'air sera par ventilation naturelle en ouvrant les menuiseries. Tous les équipements techniques sont prévus pour être en toiture même si  dans la pratique courante il est fort probable que les unités de refroidissement finissent en façade apparente, comme nous l'avons constaté dans des nombreux exemples en Palestine (Photo 1-160).

*Photo 1-151*

*Photo 1-152*

*Photo 1-153*

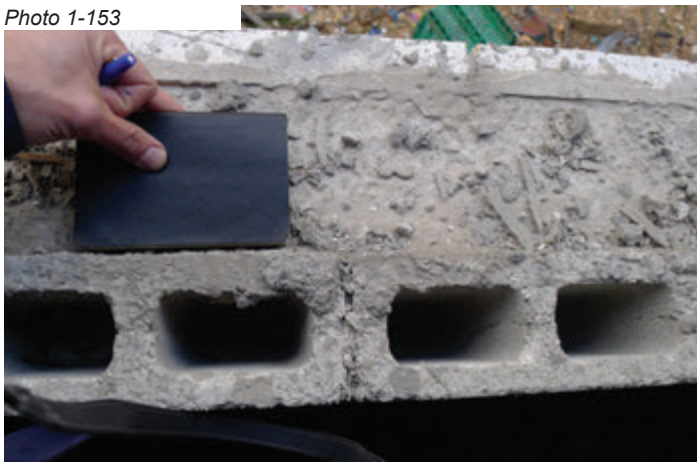


*Photo 1-154*

*Photo 1-155*

*Photos de 1-151 à 1-155 Bâtiment collectif à Naplouse, Palestine. Client : promoteur privé*

**10- Bâtiment collectif à Naplouse - État: en finition - client : promoteur privé Moayan**

La visite de ce bâtiment collectif à Naplouse nous a permis de connaître davantage les méthodes constructives optimisées qui sont utilisées systématiquement dans les chantiers de promotion d'habitat collectif. Le principe est le même que pour toutes les constructions en Palestine : construction très massique avec une paroi (Photo 1-158) en bloc enduit - béton armé- pierre, sans isolation thermique et avec des menuiseries coulissantes en double vitrage avec volet roulant par l'extérieur avec moustiquaire intégrée. Les enduits intérieurs sont fait sur le parement du bloc béton ce qui confère une grande étanchéité à l'air (Photo 1-157). Malheureusement ce potentiel est affaibli par le système de menuiserie coulissante et par le manque d'étanchéité des joints des portes extérieures. Les portes extérieures sont en métal non isolé. L'évacuation des pièces humides, salle de bain et cuisine, se fait par une colonne technique ouverte en maçonnerie et qui peut se réguler en ouvrant une fenêtre qui sépare la colonne des pièces humides (Photo 1-161). La climatisation se fait par des unités individuelles en façade sans intégration architecturale (Photo 1-160).

*Photo 1-157*

*Photo 1-158*

*Photo 1-159*

*Photo 1-160*

*Photo 1-161*

*Photos de 1-157 à 1-161 Bâtiment collectif à Naplouse, Palestine. Client : promoteur privé Moayan*

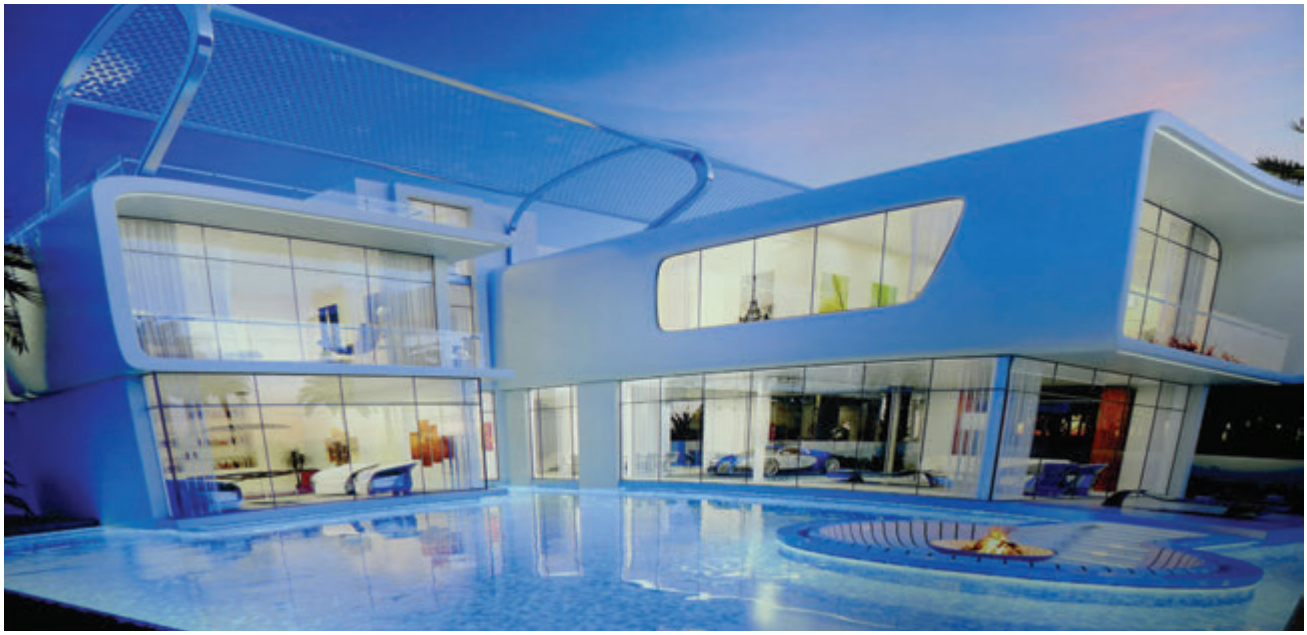


*Figure 1-68 Perspective commerciale de la Maison Bugatti, une maison de luxe de Damaq avec la voiture Bugatti incluse dans l'offre de la maison. Crédit: Damaq*

## 1-4-4- Architecture à venir

Il nous a paru important de montrer la vision du futur qui est aujourd'hui très présente dans le Moyen Orient, non pas par la pertinence des propositions mais plutôt pour analyser les éléments architecturaux qui aujourd'hui sont de forte tendance commerciale et représentent dans leur subconscient des envies des investisseurs et des utilisateurs. Ces tendances montrent les vecteurs de changements souhaités et marquent, comme une mode, les gestes et choix architecturaux qu'inspireront les projets des prochaines années. Au Moyen Orient, la référence en tendances architecturales est la ville de Dubaï, qui pour l'instant se démarque des autres émirats, Sharjah et Abu-Dhabi suivent des tendances similaires, et aussi du reste des villes importantes de la péninsule arabique. A Dubaï, deux opérateurs sont responsables de nombreuses opérations de construction immobilière neuve dans la ville et notamment : Emaar et Damaq. Ces deux promoteurs se sont spécialisés dans la construction de tours et de villas de luxe. Emaar Groupe, fondée par le milliardaire Mohammed Alabbar en 1997, s'est diversifié dans toute la péninsule arabique, Chine, Inde et les États Unis, avec la promotion de logements de luxe et classes moyennes et aisées. En UAE, et dans toute la péninsule arabique il est connu pour avoir construit la tour Califa, la plus grande tour au monde. Leur produits immobiliers sont tous très similaires : verdure, belles formes contemporaines plutôt cubiques et de grands menuiseries donnant de l'intérieur de la maison vers la cour végétalisée (Figure 1-68) ou des immenses terrains de golf. La branche de DAMAC Group (1992) dédiée à la promotion immobilière fut créée en 2005 par Hussain Sajwani, qui vu une grande opportunité dans l'ouverture du gouvernement émirati en permettant la vente de propriété aux étrangers dans les free zones. A partir de ce moment, leur activité n'a pas arrêtée de croître devenant le plus gros groupe immobilier du Moyen Orient.

A la vue de leurs propositions en termes d'habitat il nous semble évident qu'à court terme il n'y aura pas de point de retour à une architecture aux styles et caractéristiques vernaculaires, même si dans un temps futur ce retour re-visité ne nous surprendrait pas. En tout cas ce qui semble sûr, est que l'architecture de design aux traits mondialisés a un fort attrait pour les investisseurs et donc dans les prochaines années la production de logements sera fortement influencée par un style «western upper middle class» et cela pour deux raisons : les investisseurs/utilisateurs occidentaux, majoritairement expatriés, ne sont pas prêts de laisser leurs coutumes de côté car l'offre existe et en plus c'est bien vu, comme critére de réussite sociale. De l'autre côté une partie des investisseurs arabes est très influencé par les critères de goût et les indicateurs de réussite sociale occidentaux, et pour cette raison, l'apparence américaine et/ou européenne est très vendeuse, et plus elle ressemble aux pays nordiques mieux ce sera pour la vente de propriétés immobilières.

Nous avons fait une sélection des opérations en cours de vente/commercialisation des maisons destinées à la classe moyenne supérieure des expatriés, orientaux et occidentaux, mais pour démarrer les analyses des opérations des appartements de haut standing de ces deux promoteurs, il nous a parut opportun de faire une comparaison entre des images d'opérations de logements récents (Figure 1-68). Ces deux opérations si éloignées géographiquement se situent à Hambourg dans le cadre du projet urbain proposé par l'agence d'urbanisme KCAP sur le front du fleuve Elbe au coeur de la zone portuaire et de la Philharmonique et à Dubaï en front de mer : «Dubaï Creek» une opération immobilière qui combine des tours résidentielles et des logements dans la résidence collective des bâtiments multi-étages à R+7 dont les images proposées pour

l'opération sont montrées dans la Figure 1-68. Les similitudes sont Nombreuses : grandes ouvertures, ratio parois vitrées/opaques, espacements entre les bâtiments, manque de protection extérieure contre le soleil, ratio de surfaces ombragées au sol par des arbres ou les commerces... etc.. . Ainsi les produits proposés pour les logements collectifs semblent encore plus proches des habitats nordiques que les maisons individuelles.

**1- REEM Arabian Ranches II-Promoteur: EMAAR**

Cette opération reste avec les principes d'une architecture locale en termes de texture, volumes et protection des menuiseries extérieures. La taille des ouvertures est plus large que la moyenne construite dans la région. Elle fait partie de la deuxième tranche de l'opération Arabian Ranches, une sorte de communauté sécurisée pour les expatriés. Elle fait partie des Free Zones de Dubaï, la Dubaï Multi Commodities Centre Authority (DMCC) Free Zone. Elle est en périphérie Sud-Ouest du centre ville, dans une zone très aride avec une végétation sous perfusion (Figure 1-69).

Leurs nombreuses opérations de promotion immobilière montrent systématiquement des vues architecturales plus proches des opérations en Danemark, USA ou Allemagne que des habitations adaptées au climat local. D'ailleurs cette opération a été conçu par une équipe d'architectes américains de Californie, information qu'est bien mise en valeur dans la brochure. Dans l'opération analysée, les deux types de maisons adossées proposées sont disposées dans le plan (Figure 1-69) dans quatre directions possibles en fonction de sa position dans le plan par rapport au centre du lotissement. L'orientation ne joue aucun rôle dans le choix de conception. La surface habitable proposée pour cette opération varie entre 203 m2 et 256 m2 sur deux étages. Le nombre de chambres varient entre quatre et cinq, y compris la chambre de la personne de service. Les pièces de vie, séjour, cuisine, salle à manger, toilettes et buanderie sont en rez-de-chaussée et les pièces de nuit, chambre de parents et celle des enfants sont au R+1. Seule la maison la plus grande garde une chambre au RdC (Figure 1-71). Il n'y a pas de protection extérieure devant les fenêtres, brises-soleil ou autres, par contre certaines parois ont des avancées qui permettent de créer un cadre protecteur autour et projeter de l'ombre portée sur les surfaces vitrées (Figure 1-70). Un système de pergolas permet de filtrer la lumière directe sur les espaces de vie extérieurs. La végétation semble porter aussi une ombre sur les ouvertures vitrées en partie arrière. Les couleurs claires des façades permettent une effusivité moins importante, et de refléter davantage la radiation solaire.

Dans la brochure de vente nous avons cherché les informations sur la qualité environnementale des maisons, la constitution des murs, performance énergétique, matériaux utilisés en lien avec la santé, ou les paramètres de confort, Nous n'avons trouvé aucun renseignement dans les informations disponibles aux investisseurs, dit autrement toutes ces informations sur la performance ne semblent pas être un élément de décision auprès des consommateurs.

*Figure 1-68 Comparatif d'ambiances entre le front de fleuve à Hambourg et le front de mer à Dubaï.*
*Crédit: KCAP (Hambourg) et Emaar (Dubaï)*

*Figure 1-69 Plan de localisation et pland de masse de l'opération «Arabian Ranches II». Crédit: Emaar*

*Figure 1-70 Images de promotion immobilière a Dubaï dans l'opération «Arabian Ranches II», façades avant et arrière. Crédit: Emaar*

*Figure 1-71 Plans de l'opération «Arabian Ranches II». Crédit: Emaar*

**2- AKOYA OXIGEN Promoteur: DAMAC Properties**

Nous avons visité cette opération en cours de construction, voir chapitre 1-4-3-2 «villa a Sharjah» , et une partie est déjà livrée autour du terrain de golf. C'est la plus grosse opération de Damac en villa individuelle ou adossée que le promoteur réalise en ce moment. Nous avons visité les bureaux de vente et nous nous sommes entretenus avec les responsables de vente, nous avons étudié leurs brochures de vente nous avons cherché les mêmes informations que dans le projet précédent sans plus grand succès.

Les maisons disponibles sont toutes avec un style très proche (Figure 1-74) : grands vitrages sans protection solaire ou une protection légère sur des maisons types où l'orientation peut être très variée en fonction de la position du lot dans le lotissement : une même maison peut être orientée vers les quatre points cardinaux, et les casquettes et les embrasures des murs peuvent se retrouver en façade O ou E où ils sont complètement inutiles contre la radiation solaire.

**3- THE SUSTAINABLE CITY Promoteur: DIAMOND Developers**

Cette opération se veut le plus important exemple de la construction et promotion responsable a Dubaï. Il s'agit d'un grand lotissement (Photo 1-162) avec tout une série de mesures commerciales pour atteindre des nivaux de consommation acceptables : bilan énergétique du lotissement nulle, ferme urbaine, déplacements intérieurs par des véhicules électriques alimentés par l'énergie générée, 100% de l'eau recyclée et re-utilisée. Le message est très commercial et en effet lorsque on regarde avec attention le résultat est très pauvre en termes d'innovation et d'architecture (Figure 1-72).

MASTER PLAN

01. Buffer Zone
02. Equestrian Center
03. The Farm
04. Residential Clusters
05. The Sustainable Plaza
06. Sustainable City Mosque
07. Hotel Indigo
08. Comprehensive Rehabilitation Hospital
09. Sustainable City School
10. Junior innovation Center
11. Innovation Center

*Figure 1-72 Plan de masse de l'opération «The sustainable city». Crédit: Diamond Développer*

*Photo 1-162 Vue aérienne de la Sustainable City à Dubaï. Crédit: Diamond Développer*

*Figure 1-73 Plan de localisation de l'opération «AKOYA». Crédit: Damac*

*Figure 1-74 Images de promotion immobilière a Sharjah dans l'opération «AKOYA», façades arrière et plans des distributions des maisons V2 et L2 de l'opération. Crédit: Damaq*

## 1-4-5- Conclusions sur l'état actuel de la construction courante au Moyen Orient

Toutes ces visites nous ont permis de comprendre que dans l'état actuel la construction intègre à peine encore dans la grande région du Moyen Orient une démarche intéressante visant la basse consommation des bâtiments, malgré la pénurie d'énergie dans certains pays comme la Palestine où aucune mesure n'est prise en compte. Le cas des pays de la péninsule arabique n'est guère mieux si ce n'est la maîtrise des technologies de climatisation et des groupes froids, mais aucune construction véritable ne présente le début d'une démarche bioclimatique, juste à la différence de la Palestine les pays du Golfe utilisent l'isolation thermique dans les murs et des menuiseries acceptables. Dans le cas de la promotion immobilière qui représente l'architecture d'un futur très proche et les produits architecturaux phares qui hantent l'esprit des nouveaux acheteurs. Le fait le plus troublant est l'emploi sans mesure du terme, vert, habitat contemporain et style de vie relaxé, par contre l'absence de mesures et des indicateurs sur une attitude de respect de l'environnement et de réduction des consommations énergétiques est frappante:

1- Les maisons ont des indices d'ouverture en façades de 70% vitrée, bien supérieurs à des maisons nord-européennes avec des indices habituels de 20-25% maximum.

2- Dans leurs textes commerciaux il n'y a pas une trace sur des mesures d'économie d'énergie ou d'empreinte carbone.

3- La verdure et la végétation sont omniprésentes, voir exubérantes, même si le climat et les réserves d'eau n'invitent point a ceci, et que le paysage proche est celui d'un désert aride et à la végétation très sobre en eau.

4- Aucun élément de protection solaire n'est prévu, sauf pour des casquettes et des éléments architecturaux qui peuvent protéger les ouvertures des rayons du soleil en été. En fin d'été, et dans les saisons moins étouffantes, au vu de la taille de ces éléments de protection, le soleil rentre pleinement à l'intérieur du logement le surchauffant. Ces bâtiments ne pourraient pas être habitables une seule journée de n'importe quel mois de l'année en cas de panne de la climatisation.

5- La maçonnerie, l'enduit minéral ou la pierre, combinée avec les ouvertures vitrées sont les éléments de texture omniprésents dans tous les projets. La maçonnerie en brique n'est pas très présente dans les projets phares.

6- Seulement certains de ces projets sont thermiquement isolés, et le plus habituel est de les avoir isolés par l'intérieur, cette caractéristique n'est jamais mise en valeur dans aucune publicité.

7- La gestion des apports solaires se fait par l'utilisation de rideaux intérieurs épais et opaques. Si la chaleur est déjà rentrée dans la maison, la chaleur et les hautes températures se concentrent entre le rideau et le vitrage.

8- Il n'y a pas de gestion des ponts thermiques entre l'intérieur et l'extérieur. Les structures rentrent et sortent de l'enveloppe refroidie sans souci de continuité de l'isolation.

9- Les espaces extérieurs se veulent généreux, confortables et invitent à leur utilisation quotidienne.

10- L'eau est un élément d'agrément important dont la présence montre un statut social supérieur.

11- Aucune référence au confort intérieur et a la climatisation complète du bâtiment.

12- La climatisation totale est considérée comme un acquis de base et elle n'a plus une valeur de vente

*Photo 1-163 Intérieur de une maison de luxe à Sharjah sans aucune mesure de protection passive contre la chaleur. Crédit : FYu*

forte.

## 1-5- La production architecturale de basse consommation en climat chaud

Les bâtiments de basse consommation énergétique ne sont que très faiblement représentés dans les pays de climat très chaud. Il n'existe aujourd'hui que de rares exemples de constructions courantes de très basse consommation, nous ne connaissons ni les performances que nous pourrions atteindre avec une conception adéquate, ni les verrous sociologiques et financiers qui pourraient empêcher son développement. Dès lors que nous posons la question : les mêmes raisons reviennent tout le temps, qui sont le bas coût de l'énergie première raison de non-encouragement, mais à cette cause, d'autres viennent s'ajouter comme la méconnaissance technique, la pollution publicitaire sur les « green buildings », le corporatisme des « green labels » qui finalement font que l'achèvement d'un bâtiment de basse consommation soit plus compliqué en termes administratifs et en consultants que pour sa propre conception. En tout cas l'état de lieux aujourd'hui des bâtiments performants montre une très maigre production avec des méthodes et des solutions très hétérogènes. Malgré la conscience générale concernant l'importance des habitats de basse consommation dans la région, les outils habituels: guides de conception et une réglementation locale spécifique sont rares. Le Koweït lança son «Energy Conservation Code or Pratice» dans les années 80, où sont spécifiées les caractéristiques minimales pour l'efficacité énergétique des bâtiments, et mis à jour en 2010. La première réunion des ministres de l'énergie concernant l'efficacité énergétique des bâtiments s'est tenue en 1984, et ce fut à cette occasion que des recommandations sur les propriétés thermiques des murs furent définies (Rwall:1,35 m2K/w et Rroof:1,75 m2K/w ce qui équivaut à un épaisseur de 3,5 cm de isolant pour les murs et 4,5 cm pour la toiture). Oman les mit en place en 1992, l'Arabie Saoudite en 2007 avec le « Saudi Building Code », et les Émirats Arabes Unis en 2014 avec le « Green Building Regulations and Specifications ». Ces codes sont en théorie obligatoires pour tout bâtiment neuf même si les codes ont de nombreuses exceptions à la règle, et dans la pratique, en tout cas dans le cas des maisons individuelles, cette règle n'est pas appliquée systématiquement selon les témoignages des architectes émiratis rencontrés à Dubaï.

Pendant les dernières années, et suite à la présence des organismes de certification environnementale comme le Green Building Council, LEEDS ou BREAM, certains gouvernements ont produit leurs propres systèmes de notation environnementale. Ceci est le cas d'Abou Dhabi qui depuis 2010 soutient le système «Stimada Pearl System », qui donne des «perles» de notation aux bâtiments en fonction de leur niveau de performance. De même pour le Qatar avec son système Global Sustainability Assessment System (GSAS). D'autres pays du Golfe comme Oman, ont peu progressé depuis ces premières années de régulations thermiques, ceci semble être à cause de la manque de régulations dans l'architecture et de programmes de prise de conscience de la population aux problèmes liées à la sur-consommation énergétique. Toutes ces régulations se concentrent dans la description des bâtiments d'une façon générale et peu d'entre elles décrivent dans les détails les exigences nécessaires pour des bâtiments résidentiels (ALALOUCH et Al, -2015- Energy-Efficient House in the GCC Région).

Même s'il y avait plus de 50000 maisons certifiées «Passivhaus» dans le monde en 2013 ( Mekjian, 2014) elles sont principalement localisées dans les régions froides et tempérées froides de la planète et particulièrement en Europe et aux États Unis. Dans ce contexte, les gouvernements des pays du Moyen Orient se sont intéressés a la construction de prototypes, plans urbains innovants et opérations singulières pour donner l'exemple et motiver les différents acteurs à s'intéresser au sujet. Dans cette course à l'exemple du plus vert, plusieurs actions ont vu le jour les derniers temps, et dans une géographie desserte de constructions courantes exemplaires nous pouvons citer les projets qui montrent aussi la nature commerciale avec de fortes teintes de marketing de ces premières démarches de conception :

-Masdar City : Projet urbain et architectural d'une ville ex-nihilo proposé par l'architecte Norman Foster.

-La maison Passive de Qatar : ce projet se veut comme un comparatif entre deux tendances, une maison passive importée des principes européens et une maison de mêmes dimensions et même forme mais construite selon les habitudes locales récentes.

-Les Ecohouses d'Oman : Suite à une compétition entre établissements de éducation supérieure des villes d'Oman, cinq maisons de haute efficacité énergétique ont vu le jour depuis 2015.

-La fondation Qattan à Ramallah, en cours de construction et en utilisant des principes simples mais efficaces.

## 1-5-1- Émirats Arabes Unis (UAE) : Masdar city à Abu-Dhabi

Masdar City est une ville de nouvelle construction conçue initialement pour être la ville contemporaine la plus performante en climat chaud, et devenir ainsi un exemple de construction vertueuse. Située dans l'émirat d'Abou Dabi, aux Émirats Arabes Unis, et en construction depuis février 2008, elle peut accueillir jusqu'à 50 000 habitants. L'Émirat voulait en faire la vitrine mondiale du développement durable, mais elle est devenue une ville fantôme. Réalisée par l'architecte urbaniste Sir Norman Foster la ville de Masdar représente une démarche de basse consommation urbaine de par sa haute compacité et la gestion des poches de rafraîchissement et des flux de ventilation transversal urbains. Dans une telle démarche, la construction de chacun des bâtiments qui la constitue devient une amélioration au système global de la ville. Peut être que pour ces raisons la performance thermique et énergétique des bâtiments n'est pas trop médiatisée. Certains critiques pensent que la ville ne sera rien de plus qu'un symbole pour Abou Dhabi et qu'il ne s'agit finalement que du développement de quartiers luxueux pour les privilégiés. Nicolai Ouroussoff qualifie Masdar de la «gated community» ultime, «la cristallisation d'un phénomène global de plus : la division grandissante du monde en enclaves de technologie où des questions comme la durabilité n'ont que peu de pertinence» A ce jour il est difficile de trouver des données sur ces bâtiments, ce qui n'est pas très rassurant sur leurs hypothétiques performances. Dans les bâtiments les plus emblématiques de ce projet on trouve le siège de IRENA (International Renewable Énergies Agency) conçu par l'agence australienne Wood Bagots. La bibliothèque, la résidence universitaire et les laboratoires de recherche Etilsalat, les trois conçus par les architectes responsables de tout le projet urbain de Masdar, Forster and Partners.

En suivant nous avons développé une description sommaire des bâtiments le plus emblématiques de Masdar et des caractéristiques innovantes pour le climat chaud :

**1- IRENA (International Renewable Énergies Agency)**

Les grandes lignes de la conception bioclimatique du bâtiment (Figure 1-175): la ventilation naturelle par des cheminées solaires, la protection solaire par une double peau extérieure a grande inertie thermique afin de retarder l'effet de rayonnement thermique que pourraient produire ce type de structure. Une masse thermique intérieure importante. Des cours intérieures qui permettent d'éclaircir le coeur du bâtiment sans être exposé au rayonnement direct. Des conduits souterraines qui permettent selon leur description de réduire la température de l'air entrant. La présence de la végétation dans les cours intérieures qui peuvent éventuellement rafraîchir davantage. Toiture végétalisée accessible et assortie de fontaines qui est protégée par la canopée (Photo 1-165). La canopée est constituée de panneaux photovoltaïques. Sa brochure commerciale affiche les caractéristiques suivantes :

-1000 m2 de panneaux solaires (couvrant 10% des besoins du bâtiment)
- Amélioration des besoins d'énergie de 42% par rapport aux standards internationaux
- Amélioration des besoins d'énergie de 62% par rapport aux bâtiments typiques de bureaux
-Grande étanchéité à l'air : le double de la valeur demandée par la certification «Estidama»
-Utilisation de l'eau de 50% moins que les bâtiments typiques de la région.
-Chauffe-eaux solaires couvrant 75% des besoins en eau chaude sanitaire.
-La climatisation récupère 75% de la fraîcheur de l'air vicié par un système de double flux
-Récupération de la fraîcheur de l'air sortant dans une logique de double flux inversée.

Dans toute cette information, sortie des brochures de communication de IRENA, nous arrivons à sortir trois observations, la première est que les performances sont encore loin des celles d'une architecture dite passive, avec un grand déploiement de moyens actifs. La deuxième information intéressante est la mention de la notion de étanchéité à l'air performante, qui fait référence aux exigences de la certification locale Estidama, qui demande une valeur de 0.35ACH (air changes per hour) même si la l'article RE-R1 de la certification ne précise pas la pression entre l'intérieur et l'extérieur. Vu qu'elle semble être très proche des normes américaines, ASHRAE, on peut présupposer que il s'agit de conditions sous 50 Pa de différence de pression. Si cela est le cas ils auront obtenu une étanchéité à l'air de 0.17 v/h sous N50 (1 volume de la maison par heure est l'équivalent de 1 ACH) ce qui est un très bonne performance pratiquement impossible à obtenir dans de grandes bâtiments. La troisième observation est plutôt une conclusion : l'approche bioclimatique de ce bâtiment est tout de même exemplaire. Des nombreux éléments de architecture vernaculaire et passive sont présents: cour, végétation, rafraîchissement passive par le sol, protection de la toiture, masse thermique...Il faudra cependant des nombreux projets de recherche pour voir a quels point ces actions architecturales ont une influence sur la consommation d'un bâtiment de bureaux. Malheureusement nous n'avons ni aurons pas accès aux résultats dans le cadre de cette étude.

**2- La bibliothèque**

La stratégie de la bibliothèque est très simple (Photo 1-168): protection solaire de l'enveloppe et des ouvertures, bonne isolation, pas de ponts thermiques grâce a son structure en bois et aération de la chaleur

*Photo 1-164 Masdar City vu par l'architecte Norman Foster*
*Crédit: NF&A*

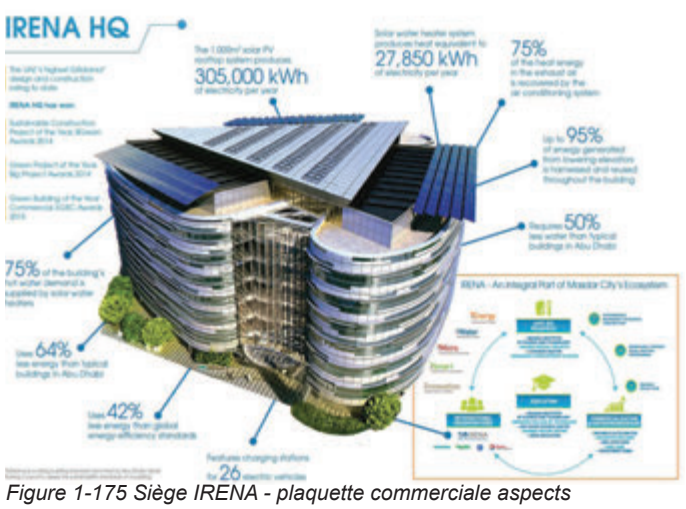



*Figure 1-175 Siège IRENA - plaquette commerciale aspects écologiques. Crédit: IRENA*

*Photo 1-165 Siège IRENA - Façade principale avec des panneaux PV intégrés. Crédit: IRENA*

*Photo 1-166 Siège IRENA - Detail de la façade et des PV*
*Crédit: IRENA*

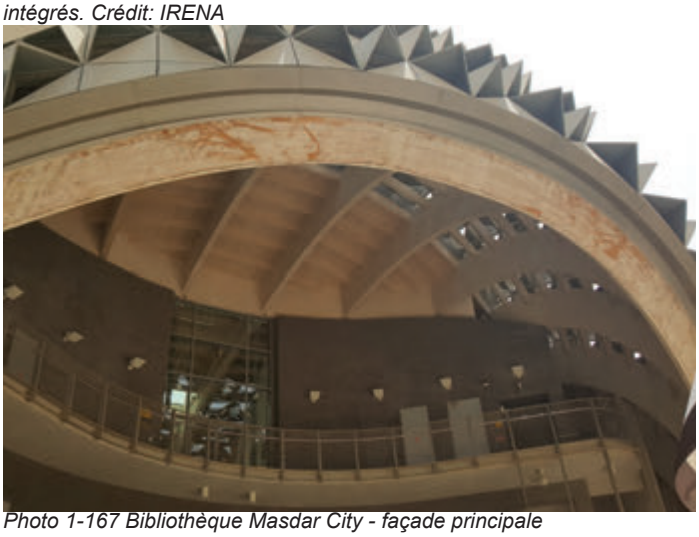


*Photo 1-167 Bibliothèque Masdar City - façade principale*
*Crédit: NF&A*

*Photo 1-168 Bibliothèque Masdar City - toiture*
*Crédit: NF&A*

*Photo 1-169 Bibliothèque Masdar City - sous face toiture*
*Crédit: NF&A*

*Photo 1-170 Bibliothèque Masdar City - détail toiture*
*Crédit: NF&A*

stockée en toiture par les ouvertures extérieures (Photo 1-169). Nous ne connaissons pas le retour d'expérience de l'usage de ce bâtiment qui nous semble cependant bien réfléchi.

**3- La résidence d'étudiants**

L'un des bâtiments les plus médiatiques du projet urbain (Photo 1-172). Il s'agit d'un résidence d'étudiants avec un approche très contemporain de l'architecture vernaculaire locale, ses caractéristiques les plus remarquables sont: moucharabieh intégré aux façades et aux balcons et re-visité, forme courbe de la façade permettant créer de l'ombre portée sur une partie des ouvertures, matériaux de façade en terre cuite, qui permet un entretien minimal respect des ressources locales par leur filières courtes (Photo 1-174).

**4- Les laboratoires**

Lieu de recherche scientifique, la vue extérieure n'est pas très mise en valeur ce qui permet d' expérimenter avec les façades, elles sont composées de deux typologies de traitement, la première est une succession de brises-soleils verticaux qui permettent de filtrer la lumière directe du soleil et la vue, la deuxième typologie qui s'alterne par couches successives avec la première, ce sont des coussins gonflables en EPFE dont nous ne comprenons pas l'utilité sauf pour la capacité isolante de l'air, mais faible à cause de son manque de confinement.

**5- La tour rafraîchissante**

Élément urbain pour l'amélioration du confort extérieur, cette tour combine deux éléments basiques de l'architecture vernaculaire: le phénomène de gradient thermique et le rafraîchissement adiabatique. Avec la hauteur et les parois humidifiées cette structure est capable d'offrir au piéton et à l'espace urbain de proximité une baisse de température d'agrément.

## 1-5-2- Qatar : Comparatif «Passivhaus»

Ce projet à fort caractère démonstratif cherche à mettre en évidence la validité des principes constructifs des maisons construites sous la certification Passivhaus. Pour ce faire, le consortium coordonné par le Qatar Green Council, intègre des entités très variées : l'ingénierie Aecom, les promoteurs Barwa et l'université AM de Texas. Ensemble ils ont construit deux maisons des dimensions identiques mais avec des grandes différences

*Photo 1-171 Protection solaire en façade des laboratoires par l'extérieur par des éléments textiles. Crédit: NF&A*

*Photo 1-172 Résidence étudiants et laboratoires. Crédit: NF&A*

*Photo 1-173 Etisalat building -brise-soleils et paneaux ETFE gonflables. Crédit: NF&A*

*Photo 1-174 Détail façade moucharabieh en terre cuite. Crédit: NF&A*

*Photo 1-175 composition de façade. Crédit: NF&A*

*Photo 1-176 Disposition des bâtiments apportant ombre mutuelle. Crédit: NF&A*

*Photo 1-177 Tour rafraîchissante adiabatique par évaporation. Crédit: NF&A*

constructives dans l'enveloppe, protection et systèmes (Photo 1-178): l'une suivant les principes constructives habituels «BAU» (Built as Usual) et l'autre avec les principes et les préconisations des maisons passives : super-isolation, étanchéité à l'air performante..etc. Ce qui est troublant est que la maison qui semble être considérée dans le projet comme «le modèle Pasivhaus» a toutes sortes de systèmes que nous considérerions loin du passif dans notre culture constructive : une grande pergola à base de panneaux photovoltaïques (Photo 1-180), une cour intérieure vitrée et fermée a la ventilation naturelle avec possibilité d'ouverture (Photo 1-183), ...etc, qui fait penser plus à une maison pleine d'équipements actifs «built as usual». En revanche il est vrai qu'elle intègre tout de même les principes passifs de protection solaire, la performance de l'enveloppe et la récupération du potentiel thermique de l'air vicié via la double flux. La ventilation est couplée avec une étanchéité à l'air très performante. Les objectifs de cette expérience est de démontrer qu'il est possible d'atteindre les performances «Passivhaus» de 120 kWhEp/m2/an toutes dépenses confondues et de 15 kWh/m2/an en ventilation et confort thermique, avec une étanchéité à l'air de 0,6 ACH à 50 Pa de pression. Les caractéristiques de l'enveloppe de la maison passive sont plus importantes que celles des maisons européennes avec 370 mm d'isolation thermique (contre 200 mm maximum en Europe) dans tout l'enveloppe entourant les murs de maçonnerie en bloc de béton de 200 mm (Figure 1-176), menuiseries en triple vitrage et protection du patio extérieur par des volets qui s'ouvrent ou ferment avec l'orientation du soleil. Les caractéristiques de l'enveloppe de la maison standard «BAU» n'a pas d'isolation thermique mais un double mur en maçonnerie : 150 mm pour le mur extérieur et 100 mm pour le mur intérieur avec une lame d'air intermédiaire dans toute l'enveloppe. La «BAU» a des menuiseries en double vitrage ouverture à la française (Photo 1-179) sans protection contre la radiation solaire directe, et une cour intérieure non protégée du soleil et ouverte à l'extérieur (Photo 1-178). Deux familles habitent dans chacune des maisons et pendant 6 mois des suivi énergétiques seront faites afin de évaluer le comportement et le potentiel de chacune des constructions. A ce jour aucune information n'as pas été diffusée. Notre lecture du projet est que ce sont deux projets qui devraient pouvoir se comparer pour sortir des analyses de l'efficacité des systèmes passifs en climat chaud. Malheureusement dans l'état des faits cela n'est pas possible dû à la présence de la protection solaire sur la maison «passive». En effet cette barrière à la radiation solaire bloque une grand partie des radiations avant d'atteindre la toiture et cette avantage n'est pas exclusive du système «Passivhaus», ce qui fausse les résultats. Nous en saurons d'avantage dans les prochaines années, et sûrement des variantes constructives sur les deux prototypes verrons le jour.

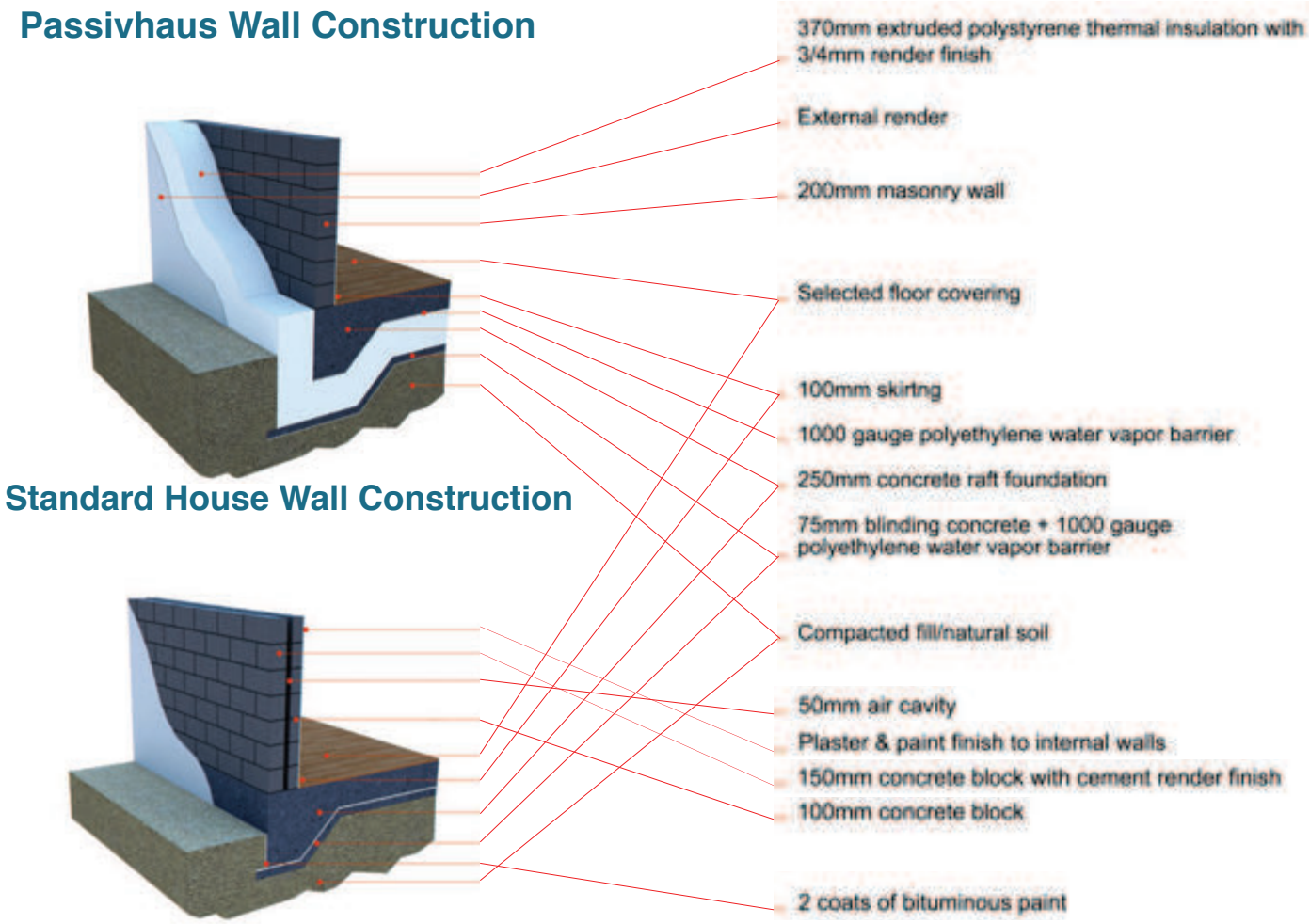



*Figure 1-176 Détail de l'enveloppe de deux maisons: Passivhaus (en haut) et BAU (en bas). Crédit : Qatar Green Council*

*Photo 1-178 image des deux maisons identiques côte a côte. Crédit: Qatar Green Council*

*Photo 1-179 Façade photovoltaïques avec ombre rapportée sur ouvertures. Crédit: Qatar Green Council*

*Photo 1-180 Maison considéré comme passive dans l'expérience. Crédit: Qatar Green Council*

*Photo 1-181 Intérieur de la maison. Crédit: Qatar Green Council*

*Photo 1-182 Intérieur avec protection intérieure par rideau. Crédit: Qatar Green Council*

*Photo 1-183 Patio intérieur centrale. Crédit: Qatar Green Council*

## 1-5-3- Oman

Les autorités d'Oman, The Research Council, ont lancé une compétition nationale entre universités nationales pour la construction de la maison durable en Oman : la «Eco-House Design Compétition». Cette compétition basée sur des critères différents de durabilité, consommation énergétique, passive architecture,production énergétique, adaptation aux typologies de construction locales, …etc. . Elle ressemble l'esprit multidisciplinaire des compétitions comme les Solar Decathlon mais elle présente une différence essentielle avec ces compétitions de courte durée : Les maisons sont construites, elles sont habitées pendant une partie de l'année par des invités de l'université, et elles sont visitées en permanence par toute sorte de public. Elles remplissent alors bien son rôle de construction démonstrative et outil de sensibilisation, car les visiteurs peuvent se mettre en situation et se rende compte par eux mêmes comment se comporte la maison. Cette compétition a été particulièrement bien organisée avec un souci de partage des connaissances : tous les dossiers techniques sont disponibles en ligne, les consommations énergétiques instantanées aussi. Cependant les vraies consommations énergétiques annuelles, et ses ratios kWh/m2, ne sont pas encore connues car après la compétition, les suivis n'ont pas été encadrés dans un programme rigoureux de recherche sur le comportement des maisons à moyen terme cependant d'après nos entretiens sur les lieux certains projets de recherche devraient voir le jour dans l'année à venir.

De cette compétition, nous avons visité deux de ces cinq maisons car elles étaient les mieux placées dans les différents épreuves et notamment celle de la consommation énergétique, ces deux maisons sont à Muscat, un climat similaire à celui de Dubaï (avec 200 DJR26º de moins) : les maisons de la Technologic German University of Oman (GUTech) et du High College of Technology (HCT) of Muscat. Nous avons étudié en suite les dossier techniques des autres deux sans visite et écarté l'etude de la cinquième par les moyens trop exceptionnels mis en oeuvre : une double peau ombriére opaque déportée sur trois des façades.

### 1-5-3-1- GUTech Eco-house

Une seule maison a attiré notre attention de par l'approche très proche de la méthodologie européenne. En effet nous découvrirons plus tard que la German University of Technologie (GUTech) est sous la tutelle de la RWTH Aachen University, qui intègre aussi l'école d'architecture de Aix-la-Chapelle. Leur équipe de conception du projet intégrait des partenaires que nous connaissons bien comme Trans-Solar un BET allemand spécialisé dans l'architecture bioclimatique très rigoureuse et dont nous en reparlerons plus tard, chapitre 5, dans cette étude.

Cette maison est située à Muscat en Oman et, contrairement aux autres, a donné priorité à la compacité, l'orientation, la composition de l'enveloppe, le zonage thermique et la protection solaire. Pour ce faire la maison a une forme en plan circulaire avec une orientation des ouvertures principales au Nord cherchant les vents dominants et l'orientation solaire la moins exposée (Figure 1-177). Les autres façades à l'Est, Ouest et au Sud sont aveugles avec juste une rangée verticale de fenêtres par orientation (Photo 1-184). L'ouverture de ces fenêtres est motorisée pour réguler la ventilation transversale en fonction des horaires et des conditions extérieures. A l'intérieur de ce cylindre déjà fortement isolé il loge la partie de vie, non isolée mais avec une grande masse thermique, comme une boite dans la boite. L'espace entre les deux est considéré comme un espace tampon vers la partie la plus fraîche de la maison. C'est le cœur bâti de la maison qui reçoit le renouvellement d'air pré-refroidi et cet air passe en suite dans les circulations tampons entre le cube et le cylindre pour finalement être repris par la double flux vers l'échangeur thermique. Le principe de ventilation suit les mêmes préceptes que les doubles flux inversées européens mais avec un apport supplémentaire de froid. Cet apport froid est produit par un refroidisseur extérieur, « Air cooled mini-chiller » de la marque McQuay, qui joue le même rôle que les chauffages d'appoint en climat froid, par pompe de chaleur intégrée. Ce refroidisseur envoi de l'eau à 10ºC dans une cuve enterrée qui à son tour nourrit la ventilation et les panneaux rayonnants en plafond de toutes les chambres (Figure 1-179). Par ce système, la climatisation par l'air est en grand partie supprimée en faveur d'un refroidissement radiant qui permet d'avoir une température de l'air plus élevé tout en gardant un bonne sensation de confort. Les murs du cylindre sont composés des couches alternées de briques, et d'isolants sous forme de remplissage en Perlite de 200 mm de épaisseur et béton cellulaire à l'extérieur. La performance thermique de l'enveloppe est de :

-Umur=0.13 W/m2K,
-Utoiture=0,17 W/m2K,
-Uwindow=1,1 W/m2K,

Ces valeurs sont très proches des valeurs des maisons passives Européennes. L'étanchéité à l'air a été traitée avec les mêmes soins que les constructions européennes, avec des bandes de transition entre les différentes barrières à l'air, des test d'infiltromètrie,..etc. Avec toutes ces caractéristiques de sobriété énergétique, l'existence de panneaux photovoltaïques en toiture devra permettre d'atteindre le bilan dépenses/ production pour générer une maison à énergie positive. Cette maison a été lauréat du prix du meilleur projet

*Photo 1-184 Vue extérieure de la maison GUTECH-Ecohouse a Muscat. Crédit : FYu*

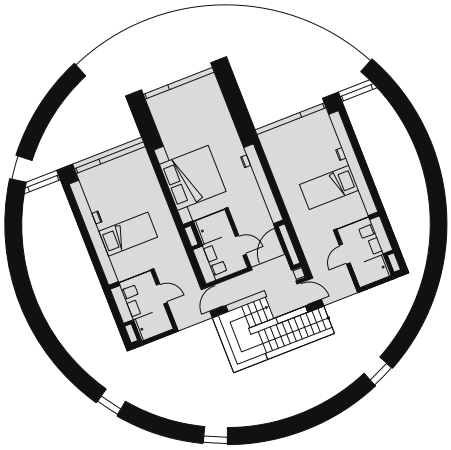


*Figure 1-177 Plans et élévations sommaires de la maison GUTECH-Ecohouse a Muscat.*
*Source : Eco-house Oman Compétition*

*Photo 1-185 épaisseur du mur extérieur de la maison GUTECH-Ecohouse a Muscat. Crédit : FYu*

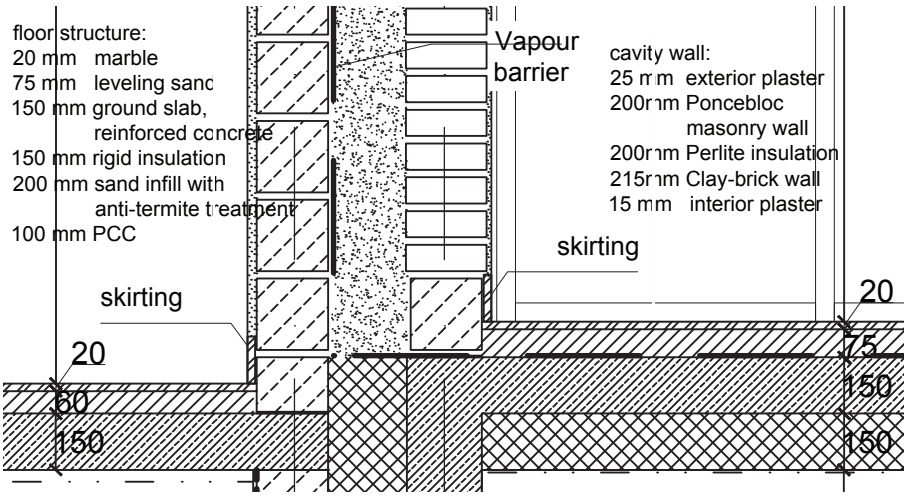



*Figure 1-178 Détail de la composition des murs (avec la barrière de pare-vapeur a l'interieur)et du sol de la maison GUTECH-Ecohouse à Muscat.*
*Source : Eco-house Oman Compétition*

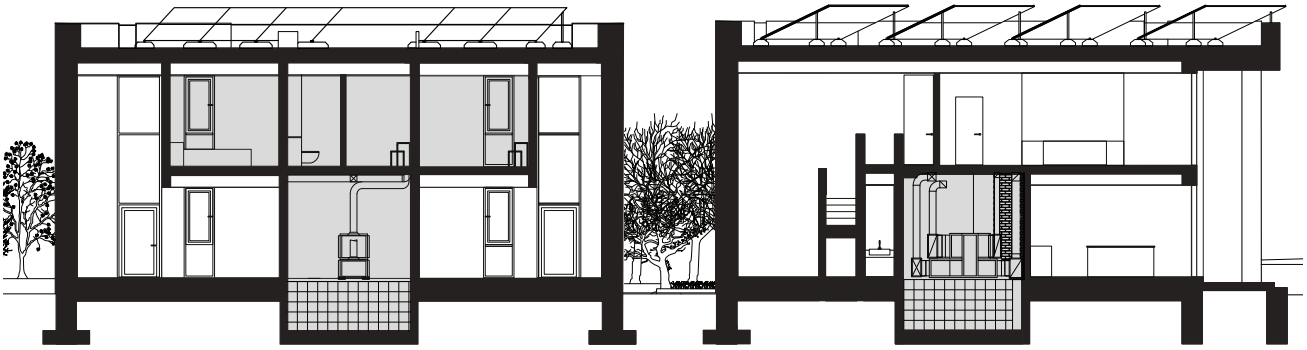


*Figure 1-179 Coupes sommaires de la maison GUTECH-Ecohouse à Muscat.*
*Source : Eco-house Oman Compétition*

durable au « Middle East & North Africa Interior Design & Architecture Awards 2015 ».

Lors de notre visite au German University of Technology à Muscat, nous avons été reçu par un des responsables du projet, Prof. Niklauss Kneber, qui nous a expliqué le montage du projet et la construction de la maison. Elle était financée par la municipalité à hauteur de 120 000 RO (240 k€) mais que à cause des problèmes de efficacité vis-a-vis d'une maison prototype construite partiellement par des étudiants elle a fini par coûter 180 000 OR (360 k€). A l'intérieur, pendant notre visite, la sensation de frais est agréable, les murs intérieurs de la paroi isolée sont construits en blocs de terre crue, en adobe, avec un revêtement en enduite aussi en terre crue qui régule naturellement les pics soudains d'humidité ambiante.

Les principes passifs décrits par Nikkolaus Knebler sont simples :

- la protection de l'habitat intérieur par des murs circulaires qui impliquent aussi une compacité optimale, et qui s'est aussi révélé encore plus intéressante en termes de incidence solaire car il semblerait que avec une forme en plan circulaire il est possible d'obtenir une réduction de la radiation de 30 % par rapport à une paroi droite.

- le travail de l'enveloppe avec trois couches successives de matériaux naturels : pierre volcanique en extérieur, Perlite au milieu et terre crue en couche intérieure. Ces éléments finalement mise en oeuvre donnent des valeurs d'isolation thermique moins performants que ceux prévus dans le projet d'origine:

Umur=0,18W/m2K

Utoiture=0,2W/m2K.

Nous avons évoqué que si 70 % de la radiation est reçu par la toiture et seulement 30 % par les murs verticaux, contrairement aux pays froids où les murs et la toiture participent également aux pertes de la maison, il semblerait logique que les murs soient moins isolés que la toiture. A savoir que la réglementation omani, même si largement insuffisante, est orientée dans ce sens : toutes les surfaces horizontales exposées au soleil doivent être isolées de 8 cm de XPS minimum. Une autre réflexion s'est aussi posée : pas toutes les façades extérieures verticales seront soumises au même niveau de radiation ainsi les façades Nord et Sud devraient chauffer moins que les façades Est et Ouest. Les trois matériaux composant la façade constituent une section avec une transition de densité massique partant d'un matériaux léger vers un matériaux plus lourd comme la terre crue ce qui permet de garder la partie la plus lourde à l'intérieur et augmenter l'inertie thermique du bâtiment. Dans la coupe de la Figure 1-178 nous constatons un détail intéressant : la barrière à la vapeur d'eau est affichée comme étant à l'intérieur de l'enveloppe thermique de la maison, et pas comme il faudrait supposer, par l'extérieur (à cause des températures plus élevées à l'extérieur que à l'intérieur). Il est possible que cette démarche soit due à une inertie trop importante du savoir faire européen et donc a transposer certains principes parfois de façon trop littérale.

- le zonage thermique, l'un des principes fondateurs de ce projet, et au vu de la bonne performance de l'enveloppe thermique, a peu d'incidence sur la réponse thermique de la maison.

- la ventilation transversale a eu quelques problèmes de construction : la partie haute des fenêtres oscilo-batantes est motorisées et devaient pouvoir s'ouvrir pour créer une ventilation avec les fenêtres oscilo-batantes en partie basse de la maison (Photo 1-186). Ce système devait favoriser une circulation d'air par le gradient thermique ou une ventilation transversale entre des fenêtres opposées pour profiter d'une grande partie des directions possibles du vent. Deux tiers des fenêtres motorisées n'ont jamais fonctionné. Malgré cela, le système semble suffisamment bien fonctionner selon les utilisateurs. Les systèmes actifs de la maison sont basés sur la séparation du refroidissement et de la des-humidification. Le refroidissement est fait par des panneaux rayonnants en plafond, un serpentin dans le plâtre qui rayonne dans tous les plafonds de la maison. Donc l'approche est fait par la température opérative de la maison. Le système de dés-humidification de l'air marche comme une centrale de ventilation double flux avec un échangeur thermique, qui avec de l'eau froide refroidit l'air mais ne fait entrer que l'air strictement nécessaire pour maîtriser l'humidité intérieure. Un problème de fond sur la gestion de cette maison est survenu lorsque l'échangeur thermique est tombé en

*Photo 1-186 Intérieur de la maison GUTECH. Crédit : FYu*

panne, et donc le système de des-humidification aussi. Avec l'humidité en montée libre dans la maison et tous les plafonds rayonnants à une température de 23ºC, l'air a rapidement atteint le point de rosée dans la surface des panneaux rayonnants et tous les plafonds se sont mis a goutter. Il a fallu éteindre le système en entier pendant une semaine le temps de la réparation du déshumidificateur.

L'air neuf et frais pris pour la déshumidification entrée par une prise située dans la façade ombragé, et frais, loin des chaleurs importantes de la toiture où d'habitude prennent une grande partie des unités de climatisation de l'air. La dés-humidification a lieu dans une salle technique de dimensions conséquentes (Photo 1-186) et l'eau résultante est stockée dans une cuve d'importantes dimensions, 2 m de diamètre par 1,5 m d'hauteur. On peut imaginer, même si ceci ne fait pas partie de cette étude, que ce système de récupération est très avantageux dans des pays à forte humidité mais avec une forte pénurie en eau.

A ce titre, nous avons eu la sensation d'une légère humidité ambiante. Il est possible que cette sensation soit liée au fait que pendant notre visite, une promotion d'étudiants en architecture soient venus visiter la maison, et c'est pendant ce moment que la sensation d'humidité est montée. Face à des pics comme celui-

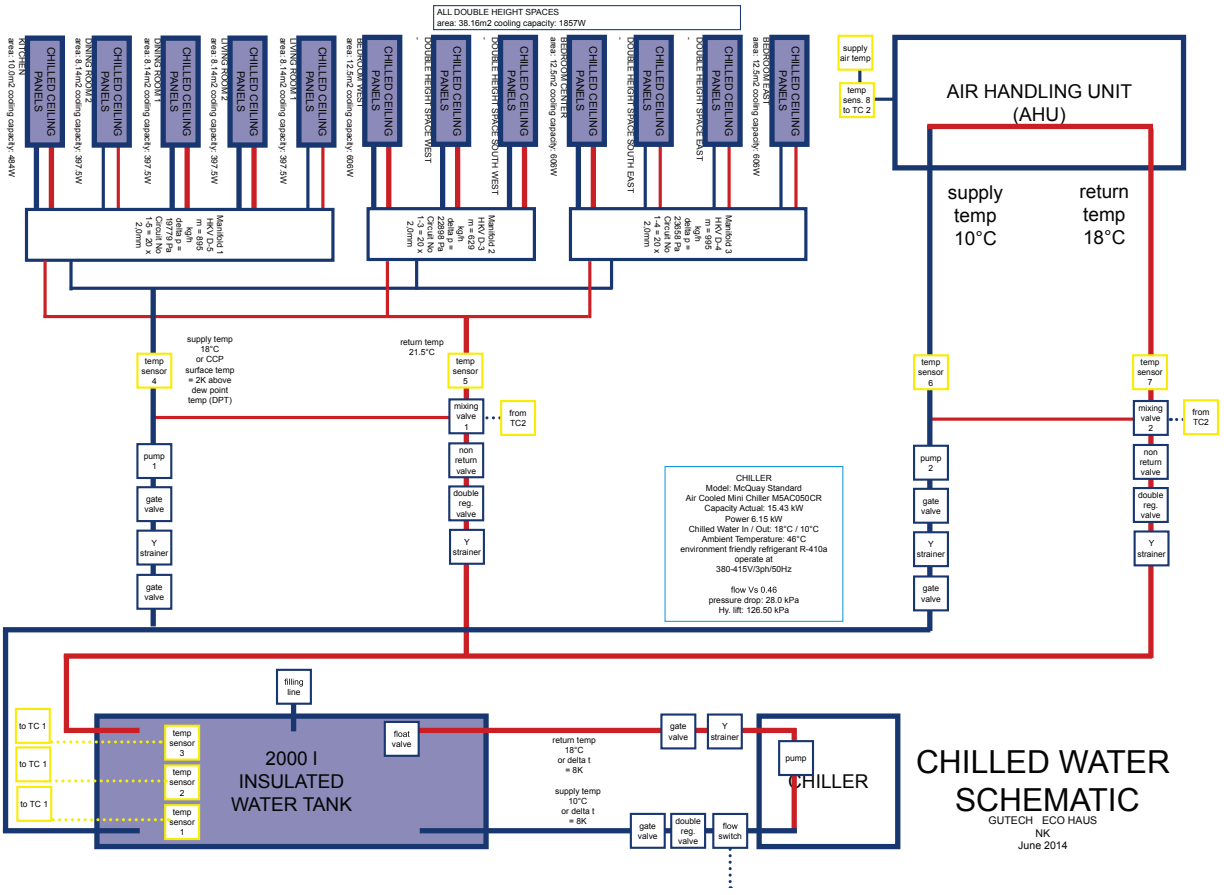



*Figure 1-180 Schéma de la production et distribution du froid de la maison GUTECH-Ecohouse à Muscat.*
*Source : Eco-house Oman Compétition*

ci, l'installation de dés-humidificateurs d'air peut se révéler insuffisante, malgré la régulation hygrothermique menée par les murs en terre crue. Il s'avère qu'une combinaison différente entre l'importance du refroidissement par l'air et le refroidissement radiant pourrait être plus efficace en termes de confort, ceci impliquerait de refroidir davantage par l'air, et moins par les surfaces. Malgré toutes les performances de la maison, il n'est pas encore possible de connaître sa consommation car tout simplement les capteurs ne sont pas encore mis en place et qu'une campagne technique n'a pas encore été menée. Il semblerait que début 2017 la maison devrait démarrer ses tests de consommation.

### 1-5-3-2 HCT Eco-house

Lauréat de la compétition «Eco-House Design Compétition», cette maison de 250 m2 de plancher en climat 2B ASHRAE et située dans le campus du High College of Technology of Muscat. Le plan de la maison a une forme en U dû à l'existence d'une cour extérieure au nord qui favorise la protection solaire des façades de la cour et crée un espace de transition avant d'entrer dans la maison qui a une température ambiante de plusieurs degrés de différence par rapport à l'extérieur. Les murs, intérieurs et extérieurs, sont tous construits avec la même technique : blocs préfabriqués en XPS de 60 mm, des deux cotés avec un vide entre les deux permettant, une fois les murs montés sur toute la hauteur d'un étage, le placement d'armatures en acier et un remplissage in situ de 200 mm de béton (Figure 1-182). La maison se veut bioclimatique tout d'abord pour l'orientation, qui se ferme surtout à l'Ouest, se protège au Sud et à l'Est seulement pour les fenêtres du RdC et s'ouvre sans protection au Nord. L'escalier central permet d'évacuer l'air chaud des étages les plus bas et de le stocker au dernier niveau, un édicule d'accès aux terrasses. La maison a une gestion des apports solaires qui nous interroge sur certaines orientations du RdC : les fenêtres à l'Est sont protégées par une toile horizontale avec une faible efficacité de blocage du soleil rasant (Photo 1-187 et 1-188). Les fenêtres à Est du R+1 ne sont pas protégées alors que l'Est reste une orientation très défavorable pour le gain de radiations. Le reste des

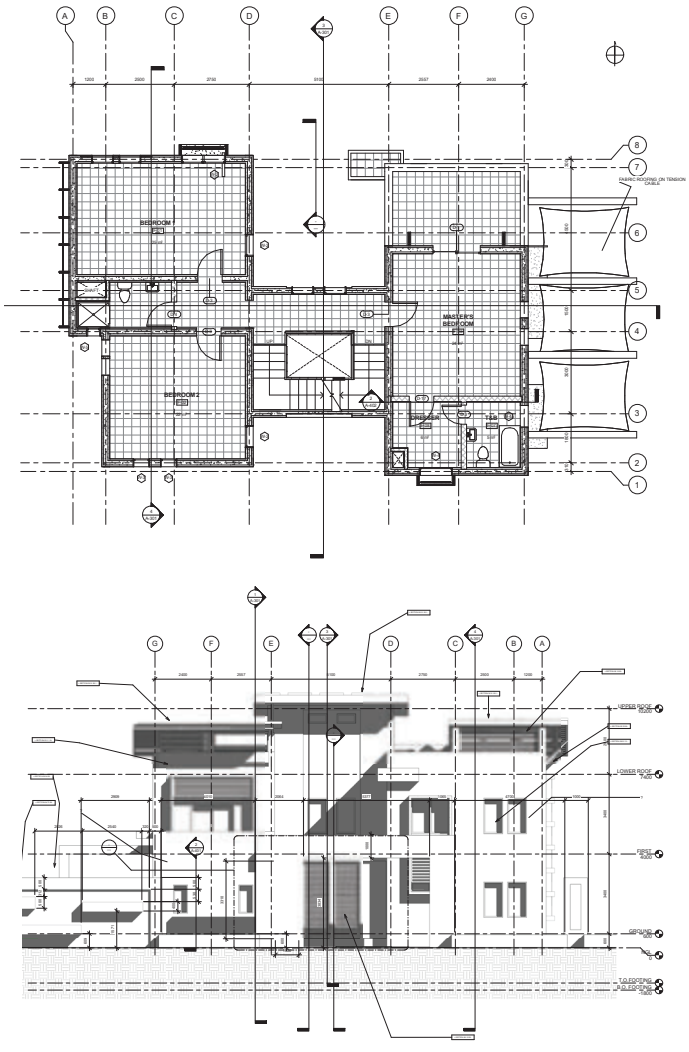


*Figure 1-181 Façades et coupes de la maison Eco-house HTC. Crédit: HTC Team*

*Photo 1-187 Vue extérieure des vitrages avec sans brise-soleil, et un brise-soleil sans vitrage. Maison Eco-house HTC. Crédit : FYu*

*Photo 1-188 Vue extérieure et intérieure végétalisées de la maison Eco-house HTC. Crédit : FYu*

ouvertures sont protégées juste par des encadrement autour des fenêtres et aucune autre protection extérieure n'est installée. La porte d'entrée au nord est vitrée, ce qui doit tout de même avoir des influences conductrices en temps très chaud. Les parties opaques de l'enveloppe sont isolées avec un total de 6+6 cm ce qui fait une performance médiocre en comparaison avec les autres exemples ( GUTech et Qatar) que nous avons analysé. Le traitement de l'air est couplé avec un échangeur thermique pour pouvoir récupérer la fraîcheur de l'air sortant. Certains aspects de la construction nous interrogent : le système constructif utilisé pour les murs intérieurs est le même que pour le murs extérieurs. Étant fortement isolés, ils ne peuvent pas participer à l'inertie thermique de la maison, limitant énormément les stratégies pour les saisons moins chaudes de décharge thermique de nuit ou recharge thermique de jour. Seul le sol est en carrelage et en contact direct avec la terre et la structure du plancher. Ceci permet d'avoir une certaine masse thermique disponible. La faible étanchéité à l'air de la maison, ce que nous avons constaté après avoir vu le jour sous les portes et menuiseries coulissantes, implique que à la moindre pression du vent, l'air chaud va entrer dans la maison, qui en plus est refroidie par l'air, causant de grosses charges thermiques sensibles (température de l'air) et latentes (humidité dans l'air).

Notre ressenti en la visitant est que la maison est agréable à vivre. Elle présente deux zones distinctes pour les hommes et les femmes en RdC et garde la zone privative en R+1 selon les coutumes de la région. Les plantes intérieures créent une ambiance très « green » et nous nous interrogeons sur leur apport au confort thermique de la maison, humidité en échange de fraîcheur, même si nous sommes convaincus de leur rôle dans l'amélioration de la qualité de l'air intérieur. Le zonage thermique de la maison montre que la cuisine, source habituelle de chaleur et d'humidité est au Sud, qui est une des zones les plus chaudes de la maison. La structure qui porte les panneaux solaires est métallique et elle est ancrée dans la structure béton de la maison provoquant un pont thermique ponctuel très important qui en raison des murs intérieurs isolés, cet apport de chaleur devrait seulement se ressentir dans les sols en béton proches de la zone du pont

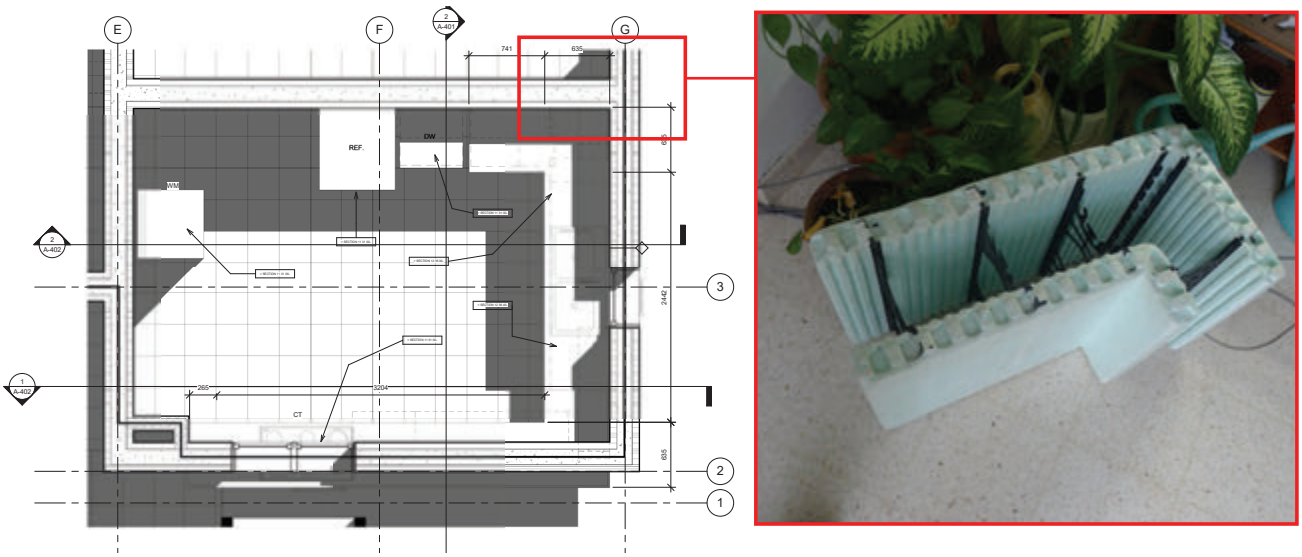



*Figure 1-182 Vue en plan et composition des murs de la maison Eco-house HTC. Crédit: HTC Team et Photo : F.Yu*

thermique. D'autres ponts thermiques existent autour des encadrements des fenêtres qui sont en béton armé et en contact direct avec la structure et l'intérieur. La façade Ouest, est partiellement recouverte de végétation grimpante, bugambilia, et elle semble tenir très bien malgré son exposition et apporte de la protection solaire, du refroidissent par évapotranspiration et de l'isolation supplémentaire au mur Ouest. Il faut aussi dire qu'en s'agissant d'une maison d'exposition, elle a une équipe de jardiniers dédiée.

### 1-5-3-3 DHO Eco-house

Dans la même compétition, d'autres maisons ont vu le jour, comme la DHO-ecohome dans la ville de Sallalah. La maison a 324 m2 et base toute sa performance sur la cheminée de ventilation, n'isolant que la toiture et pas les murs (Figure 1-183). Ces murs verticaux intègrent juste une lame d'air en guise d'isolation. Ces stratégies liées au vent et à la décharge thermique et humide sont compréhensibles si nous réalisons une maison dans un climat très humide comme celui de Sallalah considéré comme très chaud et humide équivalent à celui du sud de la Floride aux États Unis. Ceci dit aucune autre stratégie innovante ou intéressante n'est proposée. Après avoir eu des échanges avec les concepteurs, il semblerait qu'une stratégie basée sur la ventilation naturelle dans un climat très humide et chaud, rencontrait souvent des problèmes de confort. L'enveloppe des murs verticaux utilisé dans le projet est sans isolation, donnant une place particulière à la double parois avec lame d'air. Nous restons dubitatifs sur son efficacité du fait que cette lame d'air n'est pas ventilée et donc elle perd beaucoup en efficacité thermique. L'isolation de la toiture est de 100 mm de XPS. Dans les plans la toiture semble être une type de toiture dite «chaude», sans lame d'air ventilée, mais dans les photos nous voyons un bac acier mince qui semble être ventilé (Photo 1-189) .

*Photo 1-189 Vue des intérieurs et extérieur de la Maison Eco-house DHO a Sallalah. Crédit: DHO Team*

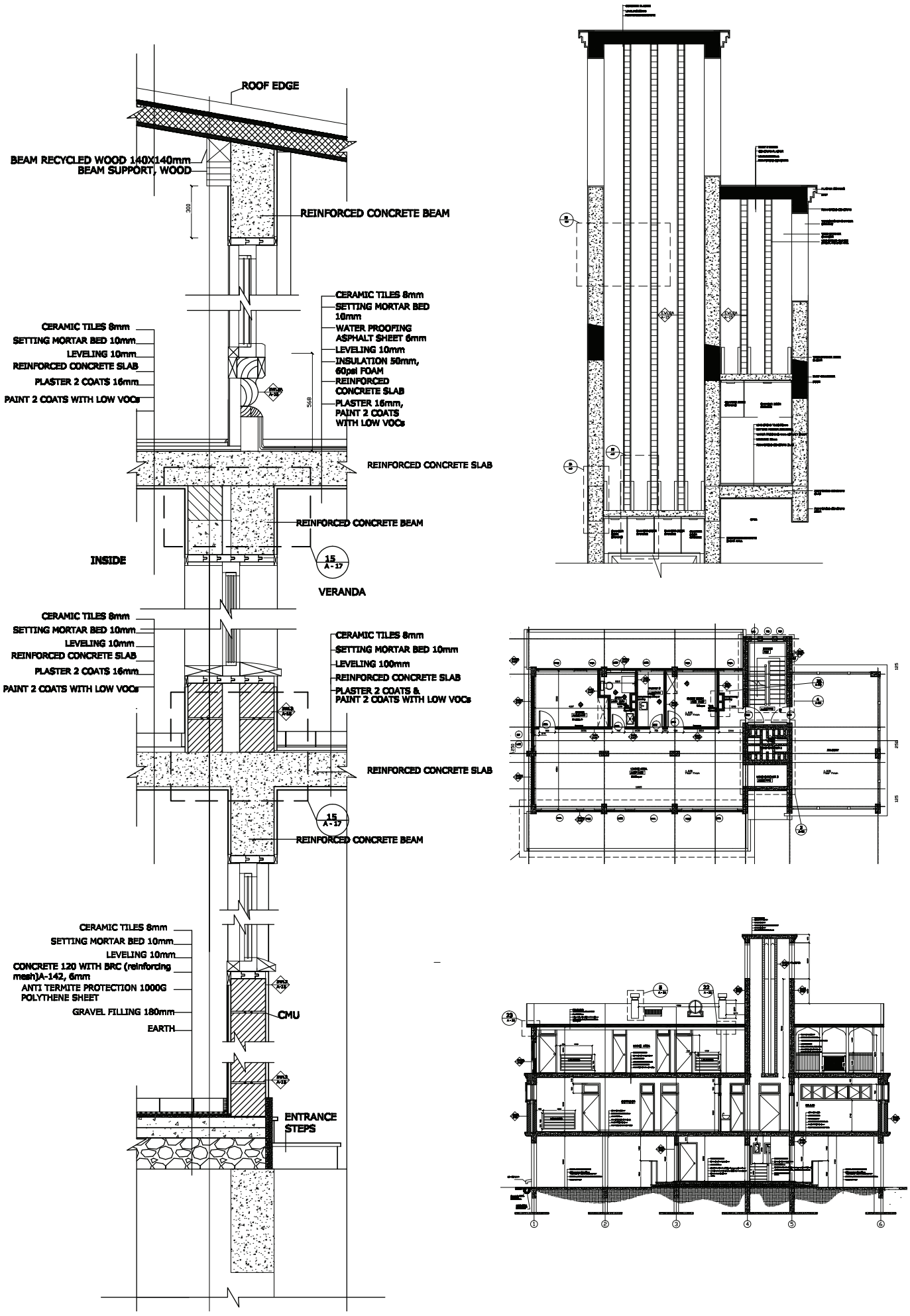



*Figure 1-183 Coupe du mur et de la tour à vent de la maison DHO. Source: DHO team*

## 1-5-3-4 SQU Eco-house

Cette maison de 250 m2 de plancher en climat 1B ASHRAE. Le plan de la maison a une forme en H dû à l'existence de deux cour extérieures au nord et au sud qui favorisent la ventilation transversale et l'échange thermique (Figure 1-184). Les murs sont composés d'une paroi intérieure lourde 200 mm de bloc béton en, une isolation thermique de 50 mm de XPS, une paroi extérieure aussi de 100 mm de bloc de béton thermique (Figures 1-184 et 1-185). Le modèle de climatisation de la maison consiste en 10 unités individuelles de climatisation reparties dans toutes les chambres, pour assurer le confort d'été, ayant aussi un rôle de deshumidificateur dans des périodes de forte humidité. Les dépenses en climatisation sont de 60 kWh/m2/an. Les performances énergétiques annoncées dans les simulations thermiques de cette maison de 280 m2 sont de 155 kwhEp/m2/an contre les 250 kwhEp/m2/an en moyenne dans les maisons habituelles. Nous mettons un doute sur les résultats annoncés et la notion d'énergie primaire, car ils nous semblent très bas. Ceci pourrait être dû à une erreur courante de nos jours : confondre les notions d'énergie primaire et finale, qui peuvent aller du simple au double si les équipements sont en majorité électriques. Le projet présente des réflexions intéressantes comme une double peau extérieur qui protège la maison du soleil toute la journée. Cet espace tampon génère des espaces supplémentaires dans la maison qui peuvent être très agréables a vivre car ils sont ventilés et protégés du soleil. Le projet vise aussi une forte décharge thermique par ventilation transversale. Le volet paysager semble bien fonctionner : surfaces à faible émissivité et donc un extérieur frais qui se couple bien avec la ventilation transversale. Dans la notice générale d'explication de cette maison, la démarche consiste en la protection de la toiture par les panneaux photovoltaïques et les murs par un porche extérieur, la création des patios extérieurs N et S, couplés avec une ventilation transversale peu définie. Pas de mentions sur les ponts thermiques, l'étanchéité à l'air, régulation hygrothermique, les méthodes alternatifs de production de froid…etc.

*Figure 1-184 - Vu des intérieurs et extérieur de la Maison Eco-house SQU à Muscat. Crédit: SQU Team*

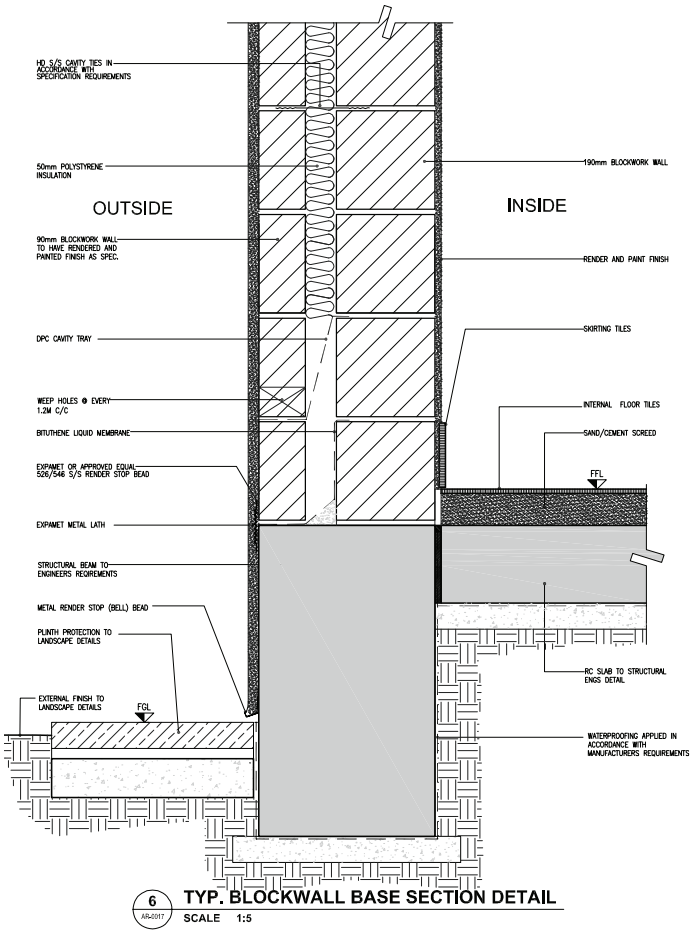


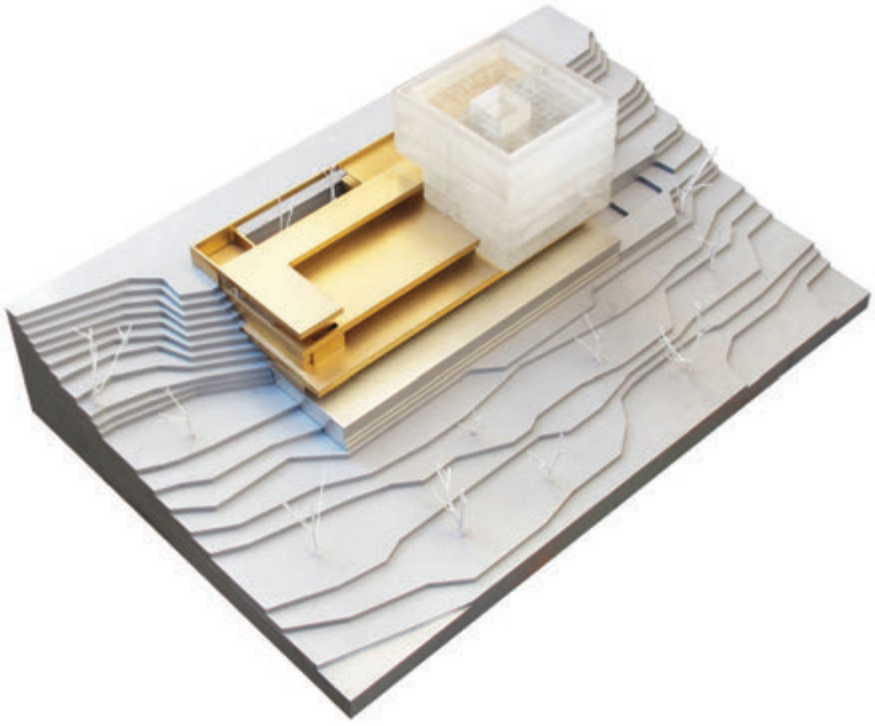

*Figure 1-185 Coupe du mur isolé de Eco House SQU. Source et crédit : SQU team*

## 1-5-3- Palestine

### 1-5-3-1 Quattan Foundation, Ramallah, Palestine

Dans des bâtiments performants avec un approche contemporaine et bioclimatique et dans le cadre d'une commande privée, nous avons trouvé la fondation QATTAN qui est issue d'un concours d'idées international et qu'une équipe espagnole d'architectes (Bonaire, Séville) réalise en ce moment à Ramallah. Ce projet est sous la supervision environnementale de nos collègues chercheurs de l'université de An-Najah et c'est dans ce cadre que nous avons pu le visiter. Le projet qui représente une boite vitrée appuyée sur un socle minéral (Figure 1-186) montre une certaine maîtrise des principes bioclimatiques et la mise en oeuvre des mesures visant une baisse de la consommation énergétique. Dans ces mesures nous avons trouvé pour la première fois au Moyen Orient une vraie isolation par l'extérieur en isolant sans discontinuité thermique, des montants des murs rideaux à rupture de pont thermique (Photo 1-190), des brises-soleil extérieurs et des double vitrages. Le bâtiment est censé répondre aux normes internationales BEAM - BREAM. Les caractéristiques majeures sont une ventilation naturelle favorisée par un grand atrium central avec des puits de ventilation en partie supérieure et une isolation très importante dans la peau extérieure de l'ensemble du bâtiment. Malgré les moyens déployés pour favoriser la ventilation naturelle les puits en plafond ne sont pas automatisées pour réagir rapidement face au changements journaliers de température et de conditions de pression dues au vent. La surface du bâtiment isolée comporte des épaisseurs d'isolants variant entre 40 mm et 70 mm. Nous avons constaté deux types d'isolation, polystyrène extrudée (XPS) (lambda = 0,035 W/mK) en panneaux sous les dalles en contact avec la terre, et Bio-polyurethane (lambda = 0,032 W/mK) projeté sur les parois verticales (Photo 1-195 et 1-196). Afin de protéger l'isolation par l'extérieure, un parement en pierre agrafée (Photo 1-192) est mise en oeuvre. Cette technique est une alternative «onéreuse» de la technique traditionnelle qui consiste à coller la pierre devant l'isolant à l'aide d'un mortier en béton de remplissage. Dans les descriptifs du projet ils mentionnent de la laine minérale dont sa présence ne fut pas constatée lors de la visite. Le bâtiment est pour une grande partie isolée par l'extérieur, à l'exception des murs de soutènements et sols où l'isolation est faite par l'intérieur (Photo 1-199). La classification bio de la mousse en polyuréthanne correspond à un nouveau procédé dans le bâtiment qui utilise des produits issus des huiles végétale. L'équipe de conception a su aussi produire un cahier de détails d'exécution des rupteurs de ponts thermiques dans les interruptions ou changements des parois de l'enveloppe. Le projet étant encore en construction, l'équipe de maîtrise d'oeuvre n'a pas souhaité nous faciliter les études thermiques, cependant il nous semble que le pourcentage de surfaces vitrées est très important par rapport aux besoins de lumière et d'apports solaires, même si la fonction et l'emplacement (Photo 1-191) veulent une architecture très démonstrative comme celle qui est proposée.

*Figure 1-186 Maquette du futur siège de la fondation Quattan à Ramallah.*
*Source et crédit: Bonaire Arquitectos*



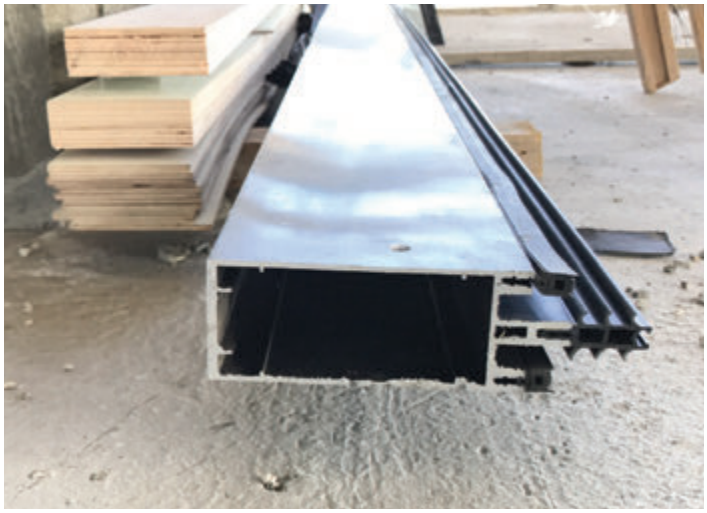


*Photo 1-190 Details du mur rideau en double vitrage et a rupture de pont thermique de la façade principale de la fondation Quattan. Crédit : FYu*

*Photo 1-191 Vue depuis le futur bâtiment de la fondation Quattan. Crédit : FYu*

*Photo 1-192 Pierre agraffée sans isolation intermediaire. Crédit : FYu*

*Photo 1-193 Future façade vitrée de la fondation Quattan. Crédit : FYu*

*Photo 1-194 Isolation en Bio-Polyurethane .*
*Crédit : FYu*

*Photo 1-195 Bio-Polyurethane projeté sur les voiles en béton .*
*Crédit : FYu*

*Photo 1-196 Epaisseur du Bio-Polyurethane projeté sur les voiles.*
*Crédit : FYu*

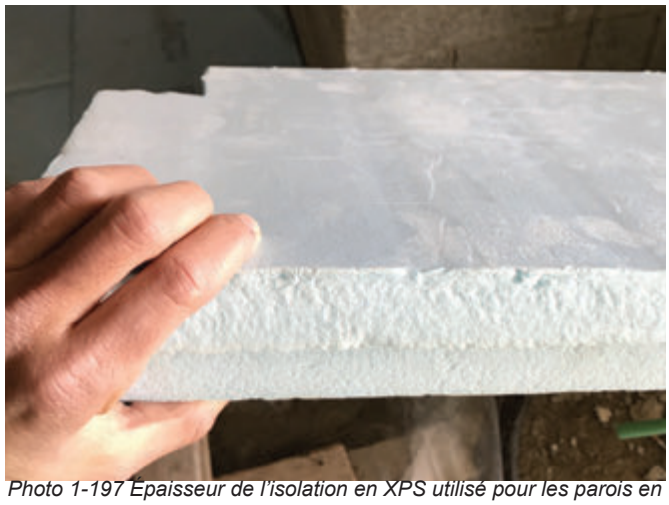


*Photo 1-197 Epaisseur de l'isolation en XPS utilisé pour les parois en contact avec la terre. Crédit : FYu*

*Photo 1-198 Bio-Polyurethane projeté sur les voiles.*
*Crédit : FYu*

*Photo 1-199 Isolation en XPS utilisé sous le dallage sur terre-plein.*
*Crédit : FYu*

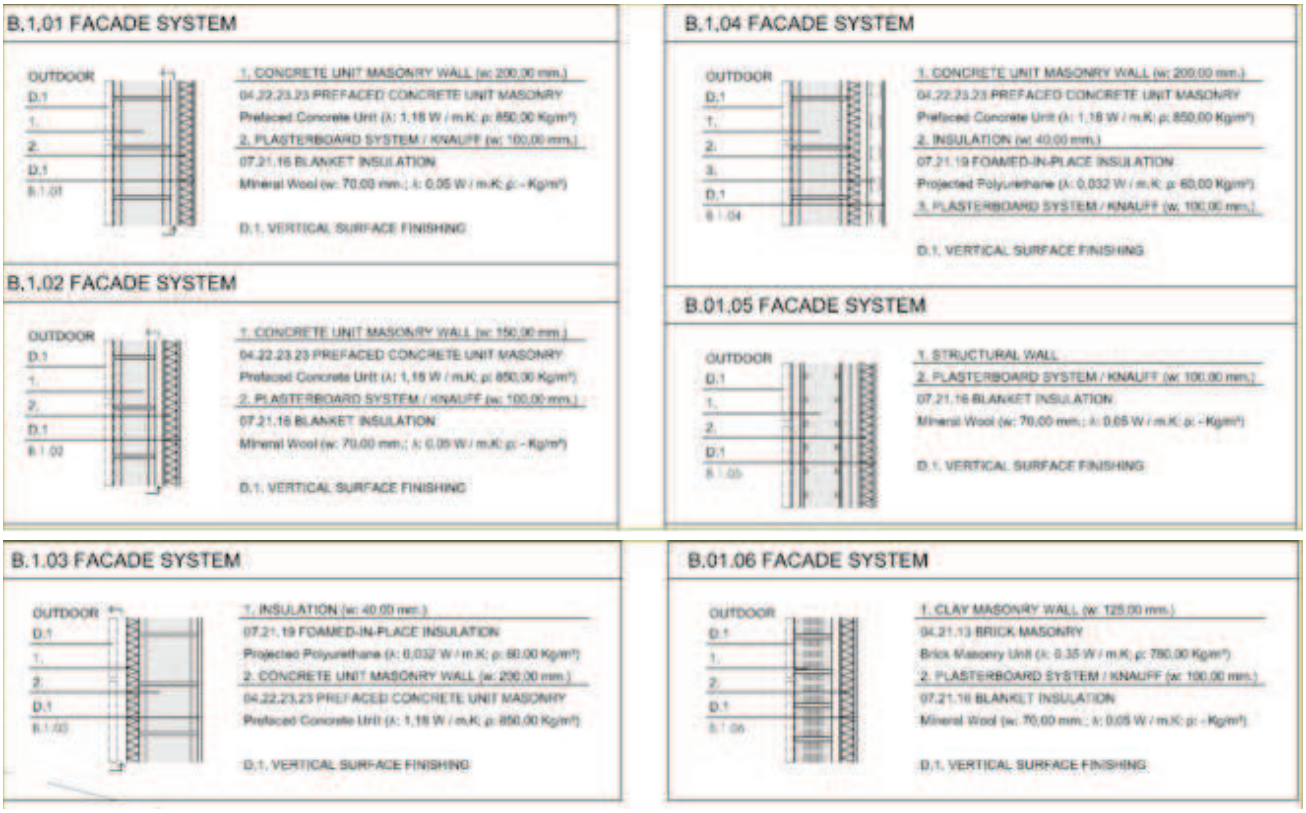



*Figure 1-187 Compostions des différents murs de la fondation Quattan à Ramallah. Source: Bonaire Arch.*

## 1-5-4- Conclusions

Après de nombreuses recherches des maisons performants en climat très chaud, il reste difficile de trouver à ce jour la maison exemplaire. Suivant les cas, les exemples se perdent en annonces des performances partielles, mêlant les concepts d'énergie primaire, production, confort, performances énergétiques dans la réalité et dans la modélisation…

Autant en climat froid, les réalisations sont abondantes avec de nombreuses données et documentation, et il est possible de définir le modèle idéal de maison dans les différents niveaux de froid du climat européen, ce qui définit aussi les formes architecturales les plus adaptées à notre climat selon les régions et qui crée aussi une identification avec la culture locale, le savoir-faire qui évolue avec le temps tout en restant cohérent et les attentes de confort qui se veut de plus en plus « bio ».

Dans le climat chaud c'est loin d'être le cas, en tout cas dans les réalisations récentes et publiées. Nous continuons à trouver des principes architecturaux très hétérogènes sans un fil conducteur intégrant les principes de base de la performance énergétique. Seule l'architecture vernaculaire possède des lignes communes de conception, obligées dans un contexte de recherche d'un confort minimale dans des conditions difficiles et des contraintes de coût importantes existants avant l'essor pétrolier.

Les exceptions trouvées sont systématiquement des maisons suite des projets très ambitieux avec des budgets considérables, et même dans ces cas de figure, les résultats sont très ponctuels et très confidentiels.

A ce jour les caractéristiques qui semblent fonctionner au mieux pour la maison ultra-performante en climat très chaud sont les suivantes :

-Ouvertures principales au Nord
-Ouvertures secondaires facilitant la ventilation transversale pendant les périodes tempérées
-Isolation thermique de l'enveloppe très performante (Umur<0,15W/m2K)
-Protection solaire des parties vitrées
-Protection solaire de la toiture par panneaux photovoltaïques
-Inertie thermique importante avec une isolation entre deux couches de maçonnerie.
-Étanchéité à l'air aussi importante que dans les maisons performantes européennes.
-Ventilation double flux avec échangeur thermique.
-Climatisation d'appoint dans les pièces de vie. Centralisé ou pas.
-Panneaux photovoltaïques et chauffe-eau solaires.

Ces caractéristiques sont à quelques précisions près, les mêmes que nous retrouvons dans les maisons passives européennes mais avec une logique inversée visant a garder le froid à l'intérieur. Cependant elles développent peu d'autres stratégiques propres aux climats chauds comme l'utilisation de refroidissement adiabatique, décharges radiatives, et d'autres plus récentes comme le froid solaire ou les matériaux à changement de phase (MCP).

La réalisation des exemples que nous avons vu précédemment sont tout de même un bon pas en avant vers la connaissance, sensibilisation des acteurs de la construction de l'habitat, en démontrant que ceci n'est pas juste une question de économie d'énergie mais aussi de qualité de la construction, de la réflexion du projet en amont et de l'obtention des seuils de confort plus exigeants que ceux qui existent aujourd'hui tout en restant plus économes en énergie. Cependant la démocratisation de maisons de très basse consommation dans ce climat mérite de prendre en considération les éléments comme le parti prix économique : pour l'instant et dû au manque de savoir faire, le coût d'une maison de très basse consommation est encore plus élevé qu'une maison normale, pour cause d'augmentation de  l'isolant, le traitement de l'air, la qualité des vitrages.. etc.. Ces éléments sont souvent pour l'instant importés en grande partie d'occident créant des surcoûts que nous n'aurions pas en Europe. Par ailleurs le prix de l'énergie, et notamment de l'électricité est très bas, pour l'instant, et même si les prévisions disent qu'il devrait monter de façon importante dans les années à venir, ceci reste des hypothèses aux yeux des investisseurs. Le manque d'habitude des artisans ne facilite guère la tâche de diminution du prix ou du résultat final.

Une autre raison de poids est la gestion et les habitudes des usagers, qui ont une grande influence dans le comportement finale de la maison, et les pays aux cultures associées à des climats extrêmes et notamment dans le Moyen Orient ont des habitudes très enracinées et toute proposition sérieuse pour apporter des améliorations de basse consommation à l'habitat devraient tenir en compte le rapport des habitants avec leur habitat en permettant de mettre en place les exigences des dernières années et les faisant compatibles avec les traditions et normes culturelles (ALALOUCH et Al, -2015)

Une dernière évidence est que presque la totalité des études que nous avons analysées, y compris le présent document, sont basées sur des prédictions d'usage théorique et des modèles thermiques, dans la plupart des cas via le moteur de calcul Energy +, et très peu sont issues des test réels avec un usage vraie et des nuances qui pourraient échapper aux logiciels qui sont d'ailleurs testés davantage dans des climats plus frais. Ceci pose donc la question de la robustesse des résultats et de la crédibilité des propositions numériques.

Pour ne pas limiter la recherche à des dispositions architecturales provenant uniquement d'une logique occidentale, nous allons devoir aller interroger en partie l'architecture vernaculaire et les travaux que certains architectes et ingénieurs ont réalisés dans le milieu du siècle dernier. Dans la quête des principes et des idées qui pourraient s'appliquer, ré-interpréter, ou juste faire évoluer dans la maison du climat très chaud du futur. Nous chercherons aussi à démontrer par des calculs et des déductions robustes et simples, l'avantage de certaines mesures.

# 2 Stratégies de conception en climat chaud

## 2-1- Synthèse des principaux traités bioclimatiques en climat chaud

Dans le présent chapitre nous voulons étudier les propositions faites pour un climat chaud par les chercheurs et architectes qui ont influencé la conception de basse consommation pendant le XXéme siècle. Nous ne rentrerons pas dans ses réflexions théoriques sur le climat et l'énergie, nous voulons juste extraire leur propositions pour l'habitat idéale depuis leur point de vue pour un climat très chaud.

### 2-1-1- Baruch Givoni (1939)

Architecte israélien gradué dans la Faculty of Architecture, Technion (Israel Institute of Technology), Haifa en 1953. Il a obtenu un Master MSc (Hygiene) dans la Graduate School of Public Health, University of Pittsburgh en 1959 et a obtenu son doctorat sur la santé publique à l'école de médecine de la University of Jérusalem en 1963. Il est l'un des spécialistes indiscutables en architecture bioclimatique en climat chaud. Il est responsable de nombreuses méthodes comme le diagramme de Givoni, développé pour un climat semi-aride où l'inertie thermique est requise en hiver. Son approche est aussi intéressant depuis le point de vue de la vulgarisation des méthodes scientifiques. Il parvient ainsi à orienter les concepteurs sur le choix le plus raisonnable combinant la basse consommation, le confort acceptable, le bioclimatisme dans un approche de basse technologie et la robustesse des propositions. Il est difficile de le classifier comme un auteur vernaculaire, moderne ou futuriste, car il utilise et combine les trois visions sans a priori et il arrive très bien dans son discours à en tirer le meilleur des trois. En suivant il nous est apparut important de citer des extraits des nombreuses recherches et apports qu'il a su faire pour l'architecture bioclimatique en climat chaud :

**1- Orientation des parties vitrées des bâtiments**

Avec des modèles de thermiques simples il a exposé quatre chambres au quatre points cardinaux, il montre que pour une température externe de 26ºC, dans la chambre au Nord ou au Sud la température atteint 30ºC alors que la fenêtre Est, atteint 33ºC et l'Ouest elle arrive a 38ºC dépassant largement les autres orientations, (Figure 2-1). Il alerte sur le fait que la stratégie n'est pas la même pour un climat humide ou un climat sec, car le climat chaud et sec, n'ayant pas besoin de ventiler, les orientations clairement à éviter pour les ouvertures vitrées sont l'Ouest et l'Est. Par contre en climat humide et chaud, et puisque les vents soufflent souvent O-E, nous devons d'abord favoriser la captation du vent naturel pour un correct balayage thermique et l'orientation des parties vitrées viendra en deuxième temps.

**2- Protection solaire des parties vitrées des bâtiments**

Les modèles analysés dans le point précèdent, sont par la suite équipés de volet extérieurs du type «store vénitien». Les résultats montrent que contrairement au point précèdent, une fois que le vitrage est bien protégé par l'extérieur, l'incidence de l'orientation est très faible (Figure 2-2).

**3- Couleur des façades des bâtiments**

Suite aux expérimentations réalisées à Haifa en Israël en 1968 (Givoni-1976), il démontre l'importance de la couleur des façades et particulièrement du toit. Il le fait avec de modèles physiques en construction légère à lourde, 7 cm à 20 cm, en béton cellulaire. Ils démontrent comment les températures d'une toiture non isolé peinte en blanc ou gris varient considérablement (Figure 2-3). En gris, et pour une température de 31ºC extérieure, la température de la surface extérieure du toit atteint 69ºC alors que en blanc elle est de 27,5ºC pour une température extérieure de 27ºC. La émissivité liée à la couleur a une influence sur la température du plafond : le modèle gris et de moins lourde a plus lourde les tempe ratures sont de 45ºC, 39ºC et 33ºC respectivement alors que pour les constructions peintes en blanc les températures du plafond sont toutes aux alentour de 25,5ºC. Même la température moyenne journalière de la surface de la toiture fut inférieure a celle de l'air extérieur, cela montre les effets de la radiation vers la voûte sur l'onde de chaleur journalière: les pertes par radiation sont plus importants que les gains par rayonnement solaire sur les toitures peintes en blanc. Ainsi un toit peint en blanc aura de températures inférieures a celles de l'air extérieur. Tout le contraire pour les toits aux couleurs plus sombres.

## Synthese des propositions et des analyses dans l'ouvrage «Passiv Cooling of Buildings» de Baruch Givoni. Figures de 2-1 à 20-18

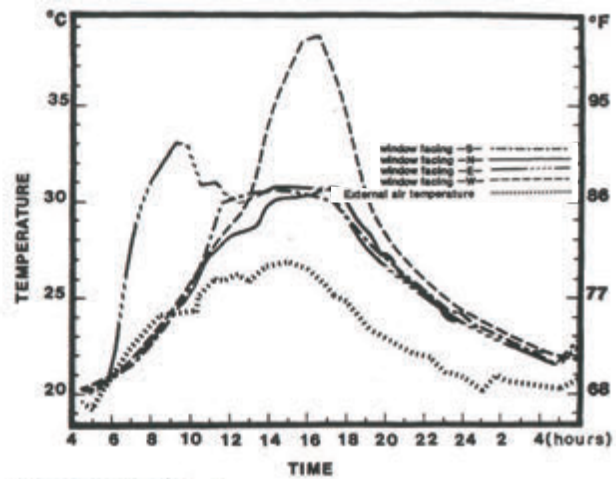



*Figure 2-1 Températures à l'intérieur des quatre chambres différentes avec une orientation par chambre vers chaque un des points cardinaux, N,S,E,O. Source: Baruch GIVONI-1994*

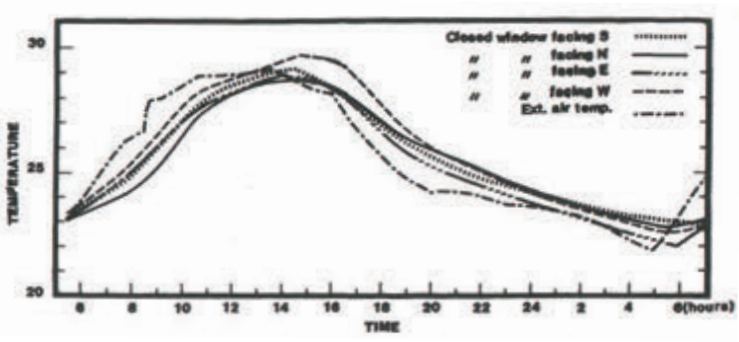



*Figure 2-2 Températures à l'intérieur des quatre chambres différentes avec une orientation par chambre et une protection extérieure du type Store Vénitien Source: Baruch GIVONI-1994*

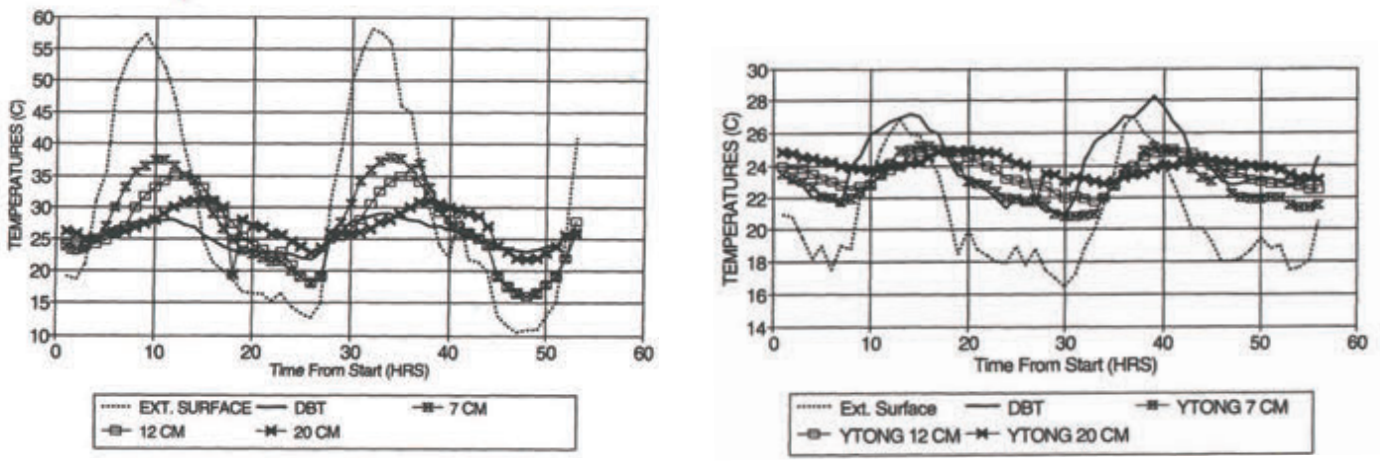



*Figure 2-3 Effet de la couleur du toit sur la température du plafond intérieur des constructions en béton cellulaire en épaisseurs de 7 cm, 12 cm, et 20 cm, avec deux couleurs différents: gris (gauche) et blanc (droite). Crédit: Givoni*

*Figure 2-4 Proposition d'un système à inertie variable. Crédit: Givoni*

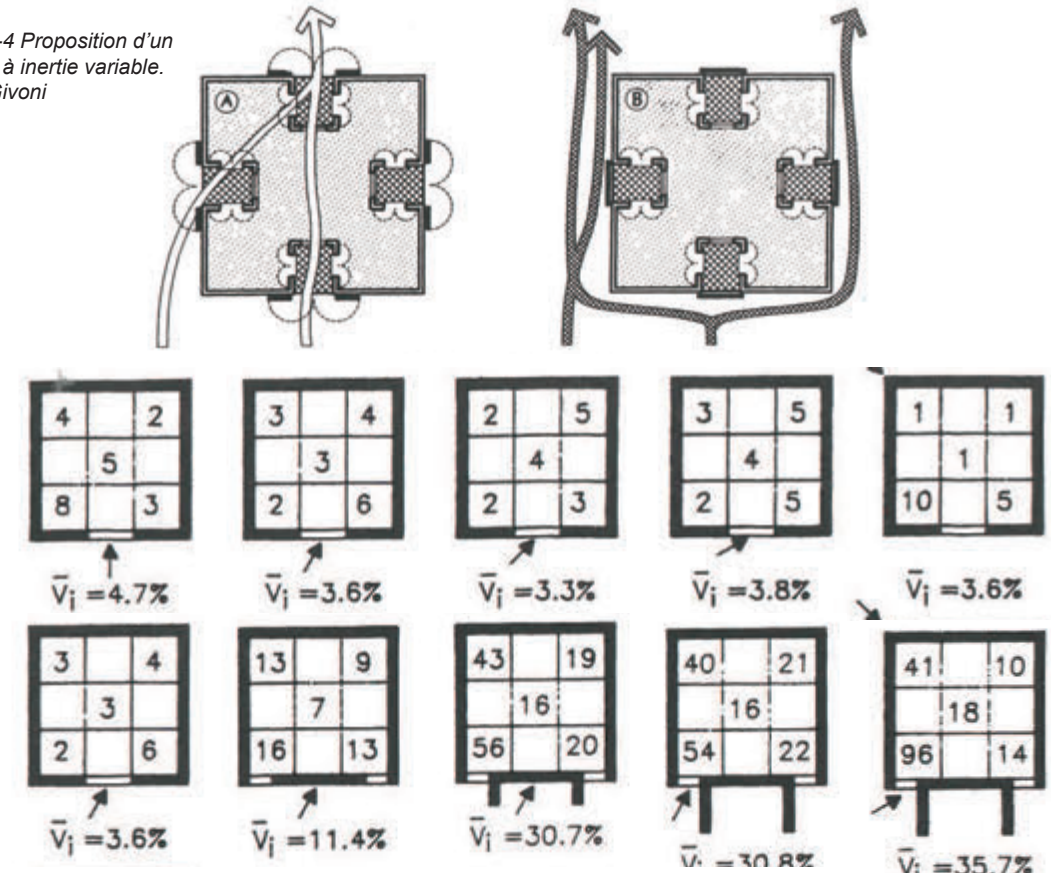



*Figure 2-5 Étude de l'effet des ouvertures et des obstacles en façade sur la vitesse du vent à l'intérieur de la pièce en pourcentage de la vitesse du vent extérieure. Crédit: Givoni*

**4- Ventilation dans le rafraîchissement des bâtiments**

Givoni insiste sur la pertinence de la ventilation dans les climats chauds humides et beaucoup moins dans les climats chauds et secs. Il propose des configurations des bâtiments a l'inertie variable grâce a une géométrie aux volets isolés (Figure 2-4), de façon a récupérer le vent facilement et faciliter l'échanges par convection et avec les parois extérieures lors de températures extérieures acceptables et de diminuer la surface extérieure par augmentation de la compacité pour diminuer les gains de chaleur par l'enveloppe. Il teste l'effet des obstacles en surface des façades pour augmenter la ventilation naturelle intérieure sur une façade mono orientée. En augmentant les dimensions des «joues de contreventement» en façade (terme utilisé par les travaux CSTB de Nantes : Guyot, Gandemer, Moreau, Bonneaud) les vitesses intérieures montent considérablement a cause de la surpression créée (flux rentrant) et des zones de dépression (flux sortant), la Figure 2-5 montre un extrait de l'étude en fonction de la direction du vent et de la largeur du cadre en comparaison. Avec des vents à 30º par rapport aux façades, il démontre que les vitesses à l'intérieur sont à 96% celles du vent extérieur. Cette solution est intéressante pour le renouvellement sanitaire de l'air du logement, mais elle est une mesure bien moins efficace que celle des espaces traversants où une ventilation croisée peut réduire dont le flux d'air devient suffisamment conséquent pour réduire de manière conséquente la température ressentie.

**5- Effet de l'inertie combinée avec la ventilation nocturne des bâtiments**

Givoni montre que la ventilation nocturne permet de descendre les températures d'une habitation de façon significative en comparaison à une situation sans ventilation nocturne (Figure 2-6). Solution vérifiée par des mesures réelles en chambres témoins en Israël (Figure 2-7). Il propose des systèmes où la structure pourrait être refroidie le soir sans que l'air entre à l'intérieur de l'habitation, comme s'il s'agissait d'un refroidissement par convection indirecte (Figure 2-8).

**6- Refroidissement radiatif nocturne**

Cet aspect est à notre avis un des plus riches de sa recherche en climat chaud, ayant donné comme résultat de nombreux prototypes construits et des idées très innovantes dans les années 70. Le principe est très simple : la voûte céleste des ciels clairs des climats chauds et secs est à une température radiative de 4ºC environ, ceci veut dire que tout corps sur la surface de la terre qui peut être en contact radiatif direct avec le ciel nocturne, est capable de décharger une quantité importante de chaleur par radiation. Par le petit schéma d'une maison à toiture isolante rétractable (Figure 2-9), il développe toute une famille de propositions basées toutes sur le même principe : faciliter la décharge nocturne la nuit des parties chaudes de la maison, ou récupérer les éléments refroidis par cette radiation nocturne. Il propose, (Figure 2-9), une maison a la toiture retractable, dont les éléments rétractables sont isolés. Lorsque ils sont rétractés, la toiture en béton peut rayonner toute la nuit et ainsi décharger une portion de sa chaleur emmagasinée. Le lendemain, la toiture isolée est a nouveau déployée pour empêcher un rayonnement inverse et dont une recharge en chaleur. Le prototype de la maison avec de l'eau sous des panneaux isolés sur la toiture, Figure 2-10, montre le principe de l'eau comme élément radiatif et masse de stockage de fraîcheur. Givoni a utilisé la tôle métallique, qui est d'ailleurs un élément de construction qui a remplacé dans le monde entier les anciennes pratiques de couverture, comme élément radiatif. Avec une température nocturne sous la tôle de 5ºC inférieure a la température de l'air extérieur, plusieurs systèmes à refroidissement radiatif sont possibles. Le plus immédiat est celui d'une toiture froide, avec une tôle en protection extérieure, un plafond isolé et une lame d'air ventilée entre les deux permettant récupérer l'air frais sous la tôle pendant la nuit grâce à une trappe qui s'ouvre lorsque la tôle commence à refroidir l'air enfermé entre la surface métallique et le plafond isolé (Figure 2-12). D'autres versions plus sophistiquées ont été proposées toujours avec la notion de surface de l'enveloppe variable (Figures 2-13 à 2-15).

**7- Refroidissement Adiabatique direct et indirect**

Givoni explore les deux grands volets du refroidissement adiabatique, le direct qui apporte fraîcheur et en même temps l'humidité générée par cet refroidissement, et l'indirect qui n'apporte que de la fraîcheur et rejette l'humidité résultante du processus dehors. Le direct avec la tour rafraîchissante intérieure (Figure 2-16), les tissus mouillés sur des porches extérieurs (Figure 2-17), ou simplement des filtres humidifiés devant les fenêtres les plus exposées au vent sont des méthodes très robustes qui ne fonctionnent que dans les climats chauds et arides, et beaucoup moins dans des climats chauds et avec des taux d'humidité élevée car l'apport d'humidité supplémentaire fait basculer l'ambiance intérieure hors des limites du confort. Dans les régions à climat humide ce sont les dispositifs de refroidissement indirects qui peuvent pousser au maximum le potentiel refroidissant de l'eau sans interférer sur les conditions de confort. Comme système de refroidissement indirect (Figure 2-18), il propose : des combles humidifiées et ventilées, des toitures avec des isolants flottants sur des bacs remplis d'eau qui refroidit en contact avec l'extérieur, ou des toitures végétalisées avec une substrat drainant et un isolant placé dans le milieu de l'épaisseur. L'eau dans cette strate est refroidie dans la journée par le processus d'évaporation, et la nuit par le processus de radiation et évaporation. Ainsi l'eau de la nappe sous l'isolant est toujours fraîche et refroidit la toiture béton qui rayonne à l'intérieur avec une température basse. C'est dans les climats très chauds et arides que cette mesure marche le mieux, cependant dans c'est

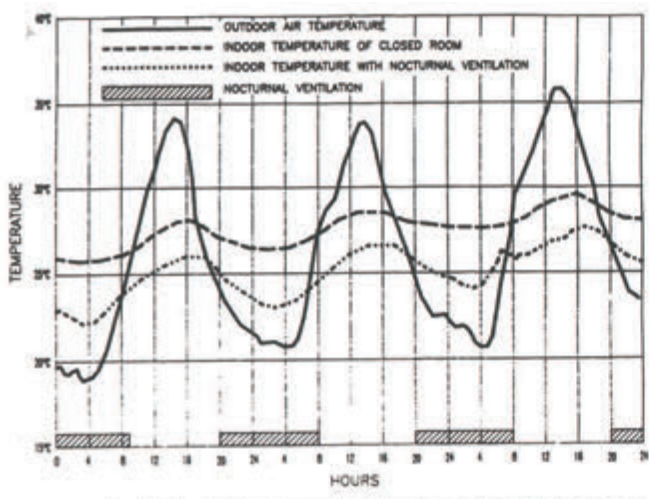



*Figure 2-6 Effet de la ventilation nocturne sur la température intérieur: une chambre ventilée la nuit et une chambre fermée. Crédit: Givoni*

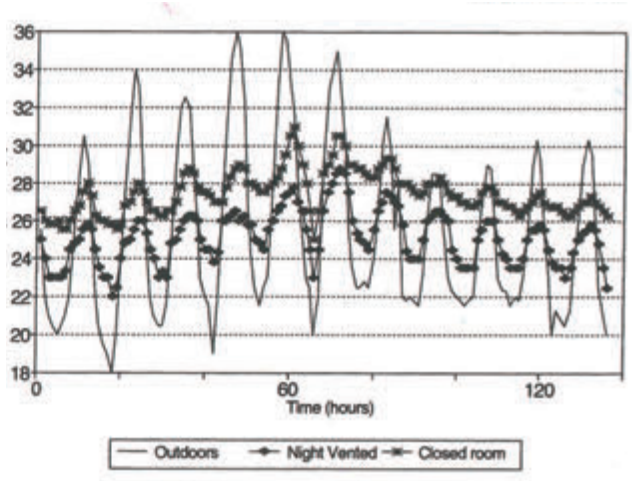



*Figure 2-7 Effet de la ventilation nocturne sur la température intérieur dans une habitation a Israël: une chambre ventilée la nuit et une chambre fermée avec une forte inertie thermique. Crédit: Givoni*

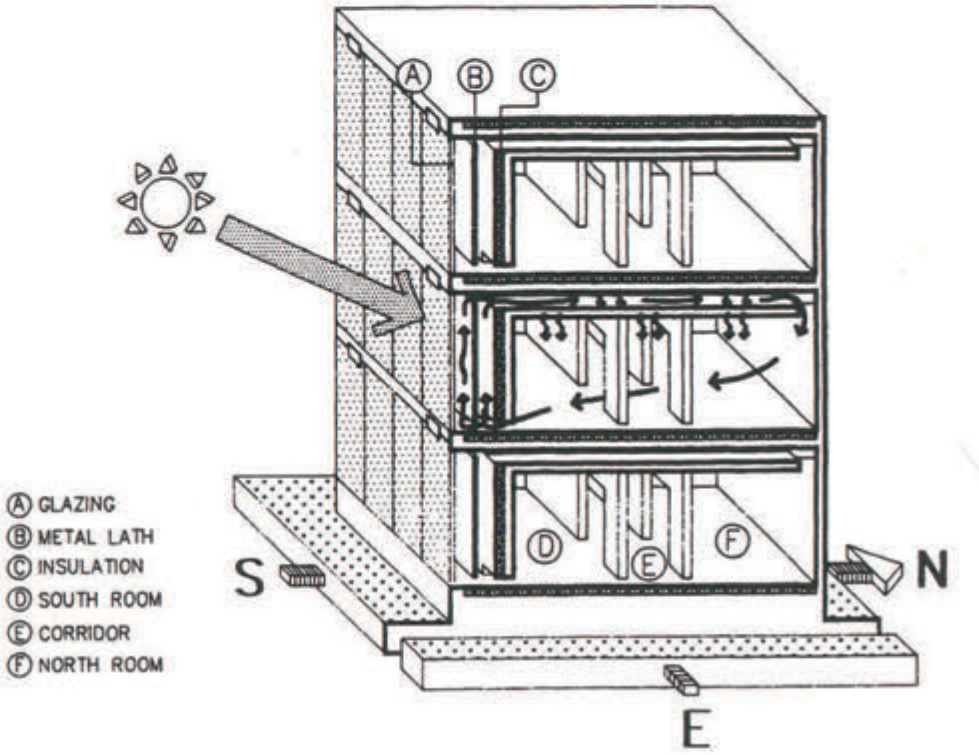



*Figure 2-8 Le système Barra, avec des canaux de ventilation intégrés dans la structure pour rafraîchissement sans courant d'air intérieur. Crédit: Givoni*

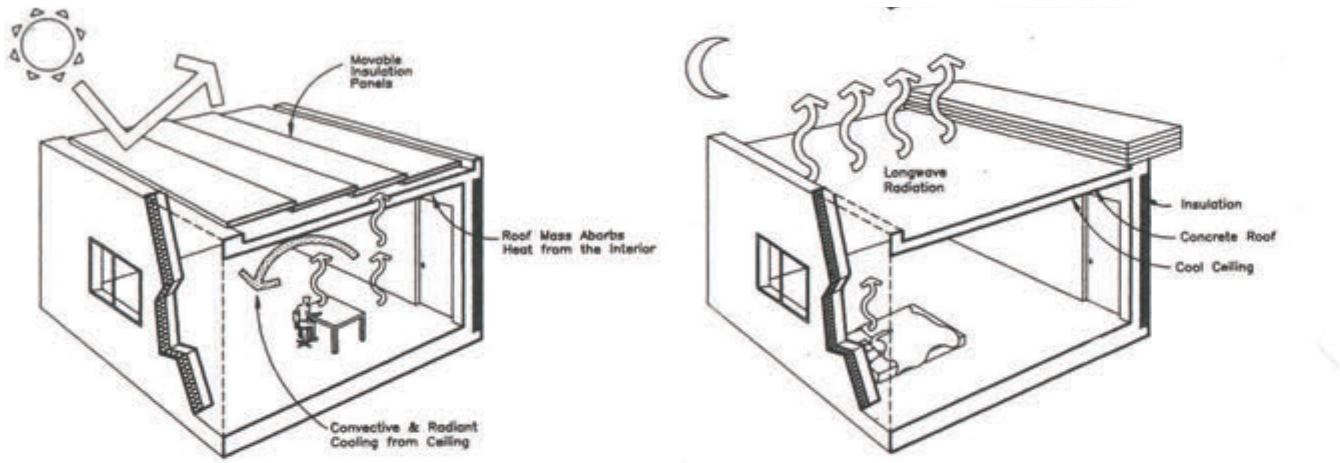



*Figure 2-9 Système de toiture isolée dépliable: le jour elle est déployée et le soir repliée pour permettre l'évacuation de la chaleur par radiation. Crédit: Givoni*

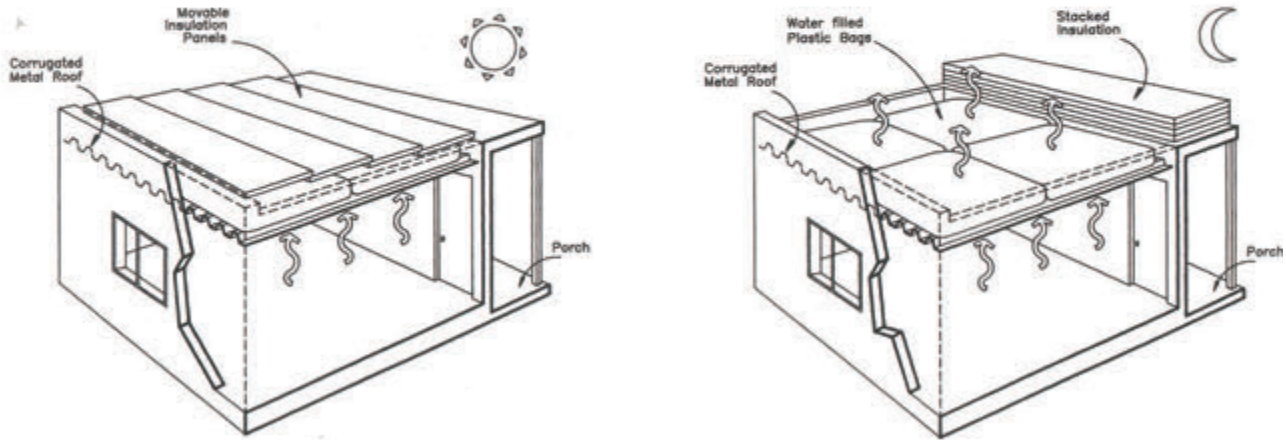



*Figure 2-10 Système de toiture isolée de-pliable sur des bacs d'eau: l'eau se refroidit la nuit par radiation et rafraîchi la sous-toiture par conduction et radiation. Crédit: Givoni*

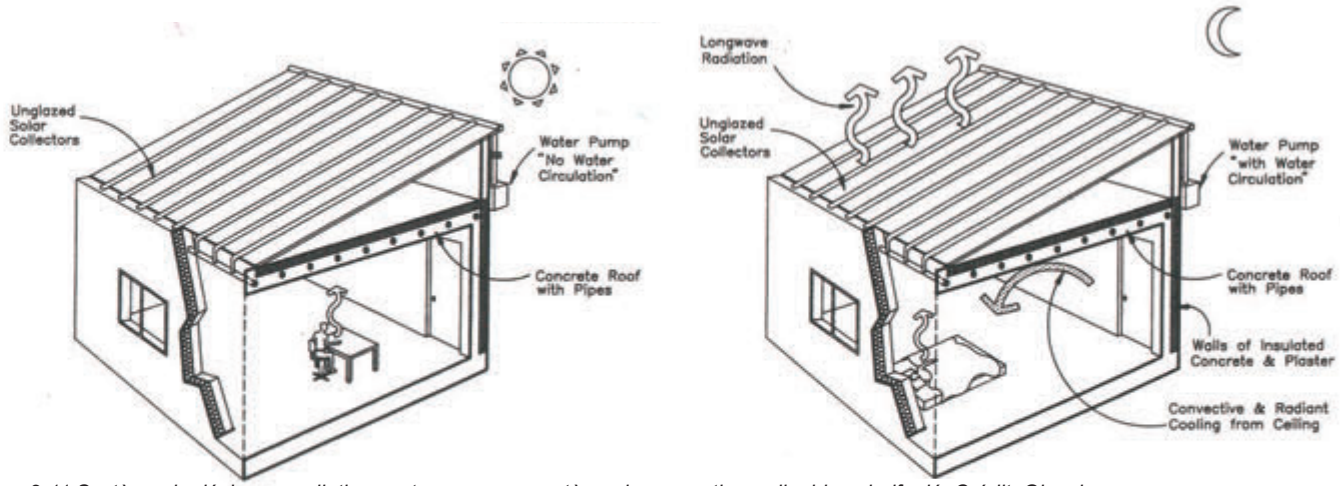



*Figure 2-11 Système de décharge radiative nocturne par un système de serpentin par liquide calorifugié. Crédit: Givoni*

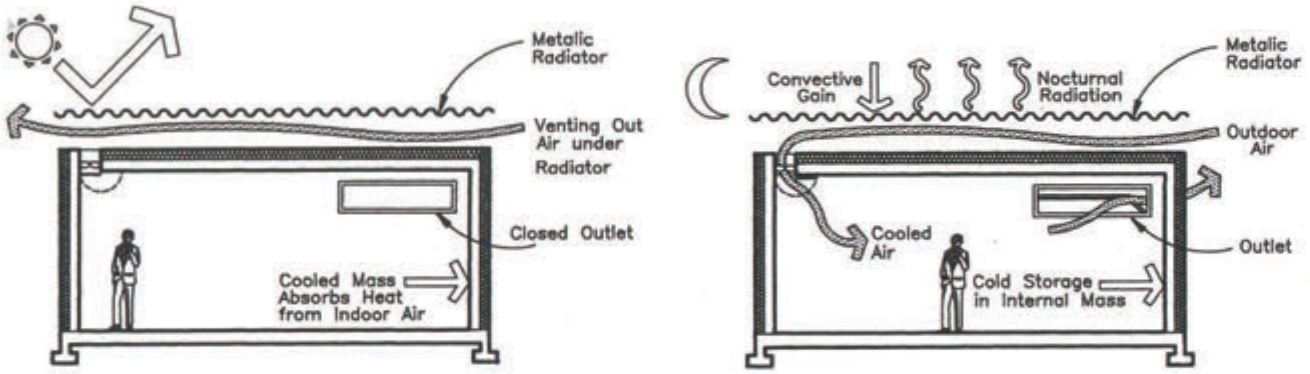



*Figure 2-12 Récupération de l'air frais sous toiture pendant la nuit. Le jour le système est condamné. Crédit: Givoni*

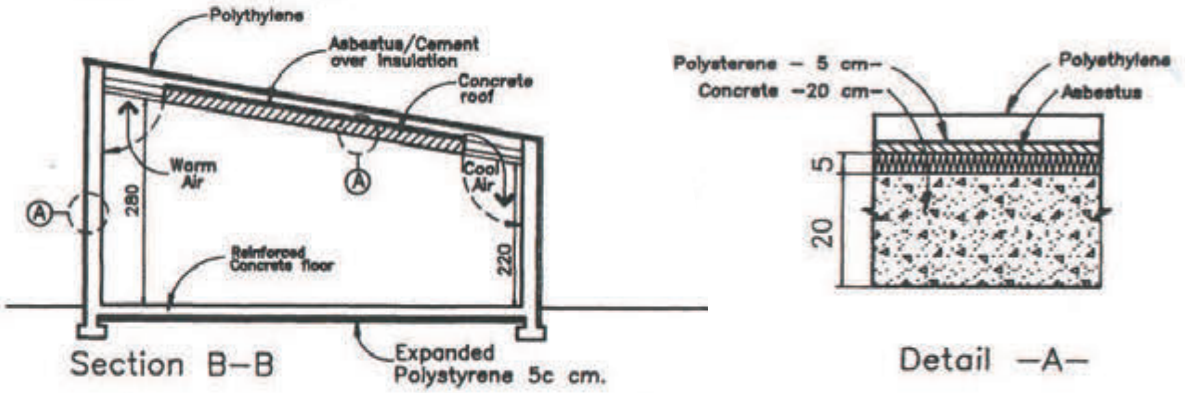



*Figure 2-13 Coupe et détail d'une expérimentation avec des panneaux de toiture ondulé en béton fibre sur une isolation de 5 cm et sous un film très fin en polyéthylène permettant la décharge nocturne par radiation des panneaux ondulées. L'air était emprisonné entre les panneaux ondulés et le film de polyéthylène et il se refroidit le soir. Crédit: Givoni*

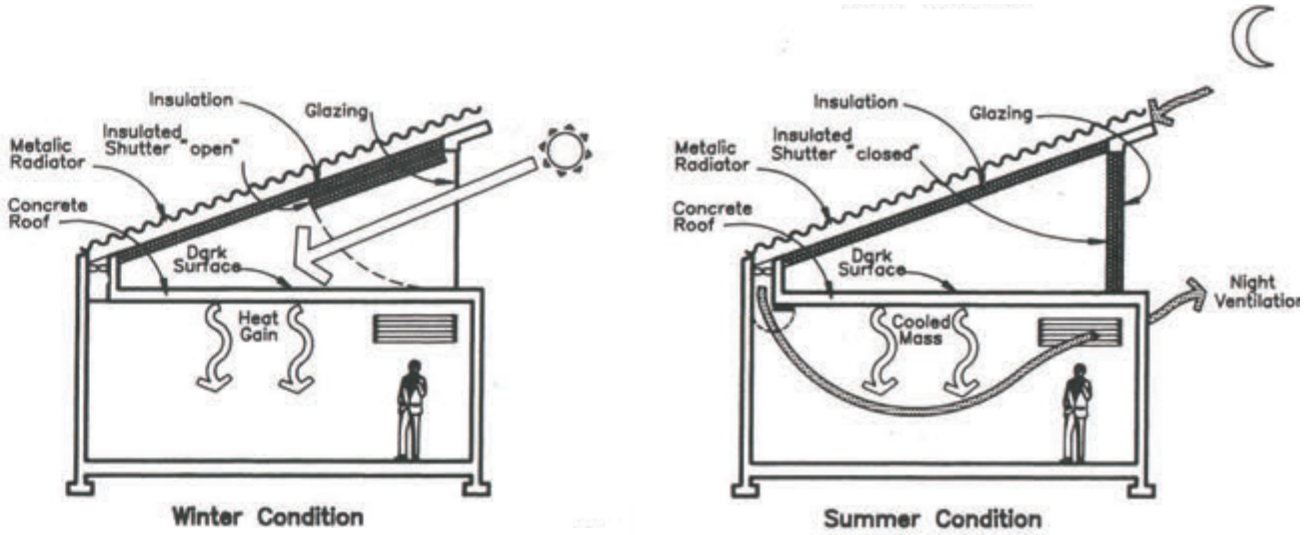



*Figure 2-14 Combinaison de mesures bioclimatiques dans une même maison: toiture radiative avec récupération de nuit en été, et captage de la chaleur dans les combles par panneau isolé mobile. Crédit: Givoni*

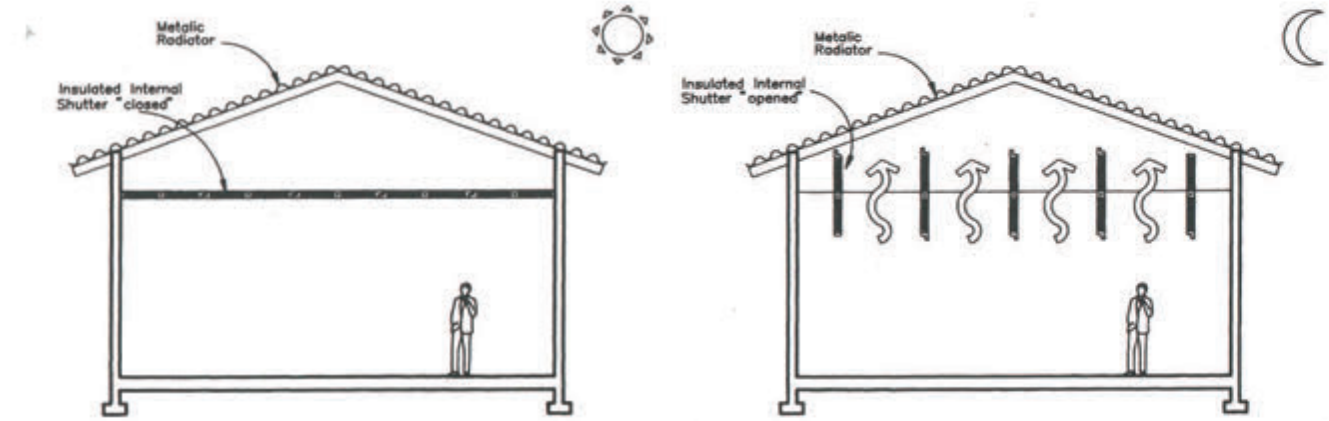



*Figure 2-15 Système de panneaux rotatifs dans un complexe de toiture légere: le jour les panneaux d'isolation sont deployés autour de l'espace de vie, mais le soir ils pivotent pour permettre à la toiture légère en tôle de rayonner de la fraîcheur vers l'intérieur.*
*Crédit: Givoni*

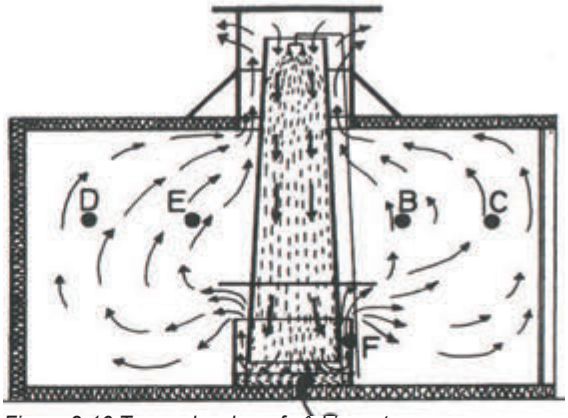



*Figure 2-16 Tour a douche rafraîchissante*
*Crédit: Givoni*

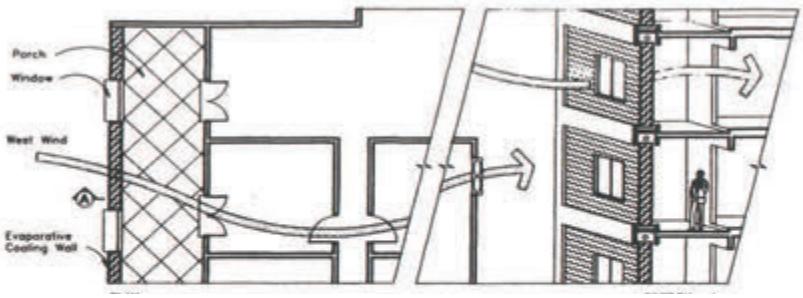



*Figure 2-17 Loggias rafraîchies par des murs adiabatiques.*
*Crédit: Givoni*

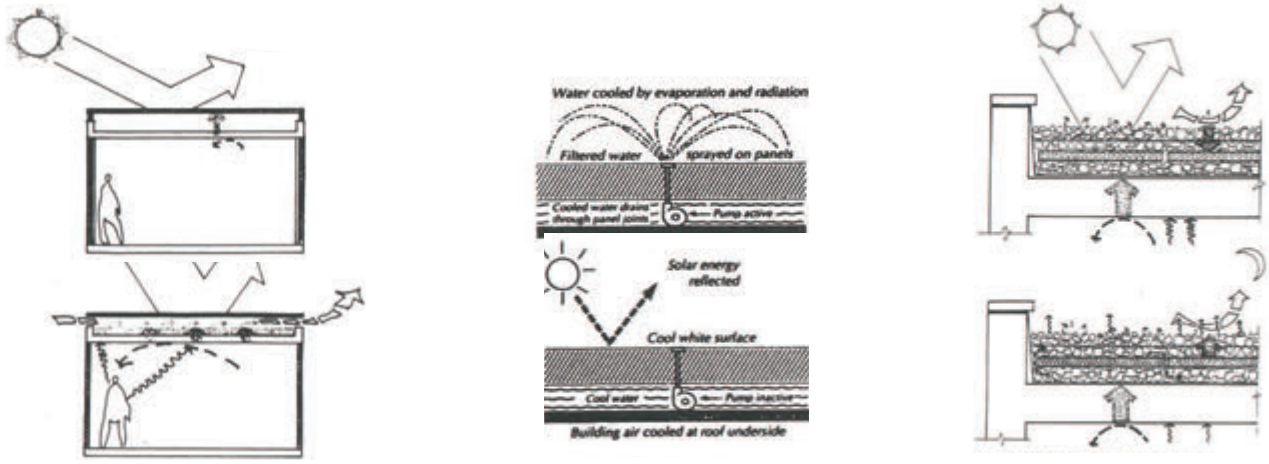



*Figure 2-18 Toiture végétalisée avec de l'eau en fond et une isolation perméable entre la terre et le bac d'eau inférieur.*
*Crédit: Givoni*

paradoxalement dans ces climats que l'eau est une ressource rare et souvent source des conflits sociaux et de tension régionale. L'usage de cette mesure de refroidissement devrait aller systématiquement accompagnée d'une évaluation des besoins et des ressources disponibles et d'une stratégie de recyclage et traitements des eaux qui ne sont pas ou plus potables dans la limite du respect de la ressource.

## 2-1-2- Hassan Fathy (1900-1989)

La vision de Hassan Fathy de la maison idéale en climat chaud est très liée à l'architecture vernaculaire et même s'il maîtrise bien les phénomènes physiques dûs à la transmission de chaleur et son évacuation, il tient à les appliquer aux principes constructifs de l'architecture «low-tech» et située, sans jamais mettre en question l'architecture locale (Figure 2-19). Hassan Fathy est très critique sur l'architecture moderne internationale qui, selon lui, ne profite pas de l'intelligence de l'architecture vernaculaire des régions arabes. Le paragraphe suivant, dans son livre «Natural energy and vernacular energy» montre bien sa posture en regard d'une style d'architecture dite «internationale» écrasante par rapport à l'habitat sobre et efficace du Moyen Orient :

*«In spite of this, we are witnessing a change that is now forcing a complete rupture with the past; every concept and every value has been reversed. For house design in the Middle East, the introverted plan wherein family life looked into the courtyard was changed to a plan with family life looking out upon the street. The cool, clean air, the serenity and reverence of the courtyard were shed, and the street was embraced with its heat, dust, and noise. Also, the qã'a was supplanted by the ordinary salon, and all such delights as the fountain, the salsabil, and the malqaf were discarded in the name of progress and modernity.*

*It may seem that, from the functional point of view, mechanical airconditioning was made possible by modern technology; but we must recognize that such technologies also have a cultural rôle. In fact, this rôle may be even more important than the function it serves, considering the special place occupied by the decorative arts in many cultures.*

*Thus when the modern architect replaced thèse decorative éléments with air-conditioning equipment, he created a large vacuum in his culture. He has become like a football player playing football with a cannon. If the purpose of the game is scoring goals, then assuredly he can score a goal with every shot. But the game itself will disappear, and so will any diversion for the spectators, except perhaps in the killing of the goalkeeper.[...]*

*Unhappily, the modern architect of the Third World, suddenly released from this gravity, and unable to resist tentation, accepts every facility offered to him by modern technology, with no thought of its effect on the complex web of his culture. Unaware that civilization is measured by what one contributes to culture, not by what one takes from others, he continues to draw upon the works of Western architects in Europe and North America, without assessing the value of his own heritage. (Hassan Fathy 1986)»*

Il analyse la forme architecturale des bâtiments sous l'influence du climat, et comment en Égypte, Irak, Inde, Pakistan, des loggias profonds, et larges balcons empêchent la lumière directe du soleil d'atteindre les intérieurs, et lorsque des filtres en bois comme les moucharabieh bloquent le rayonnement sans empêcher la ventilation transversale. La toiture, contrairement à l'européenne qui doit être en pente pour se protéger de la pluie et de la neige, elle est plate et permet à ses occupants de l'utiliser la nuit pour dormir ou se rassembler autour d'un thé. Il décrit comment avant l'ère industrielle, les peuples du dessert sous l'influence du soleil tranchant construisent en utilisant des gros murs pour l'isolation et des petites fenêtres pour éviter l'éblouissement et les apports solaires directs.

Les propriétés d'émissivité sont décrites dans son ouvrage et plus particulièrement les propriétés des matériaux face à la radiation d'autres corps à des températures environnantes (entre 10ºC et 38ºC) et il fait la différence de ces propriétés face à la radiation solaire ou aux infrarouges. Dans le groupe des matériaux de construction habituels, les matériaux métalliques ont des émissivités plus faibles face au soleil mais ce sont les matériaux peints en blanc qui ont les émissivités les plus basses à un prix abordable. Cependant les matériaux peints en blanc n'ont pas une émissivité très base face aux radiations des surfaces environnants. Dans les matériaux plus sophistiqués l'aluminium brillant est celui qui obtient l'émissivité la plus basse de toutes.

La différence entre le comportement face au soleil ou face à d'autres corps est particulièrement intéressante si est exposée aux radiations environnantes et non exposées au soleil ou ombragées dans un cadre urbain, ou à la paroi intérieure d'une double peau avec une protection solaire par la paroi extérieure. Sur ces surfaces, Fathy nous conseille d'utiliser des matériaux qui réfléchiront les radiations infrarouges des corps environnants. Par contre face aux rayonnements solaires, comme c'est le cas des toitures et des façades Est, Ouest et Sud dans l'hémisphère Nord, il y aura tout intérêt à utiliser des matériaux facilement peints en blanc. Il en va de même pour les vêtements, ceux noir ou blanc n'ont pas davantage particulier entre eux face aux radiations des corps environnants, comme par exemple le corps humain face aux vêtements ou les vêtements dans un extérieur ombragé. Sous le rayonnement solaire par contre, ce sont les vêtements blancs qui seront les plus intéressants à porter car ils réfléchissent davantage la radiation solaire.

Fathy nous fait part de ses conseils pour la conception basse consommation en climat chaud, pour la région du Maghréb et notamment au Caire, sur différents volets séparés :

**1- Orientation**

La façade N a une exposition au soleil seulement en été, tôt le matin et tard le soir, et la façade S reçoit un rayonnement solaire tellement vertical que les épaisseurs des murs ou une petite casquette suffisent pour bloquer le soleil, et en hiver le soleil entre à l'intérieur pour réchauffer la maison. Les façades E et O sont celles

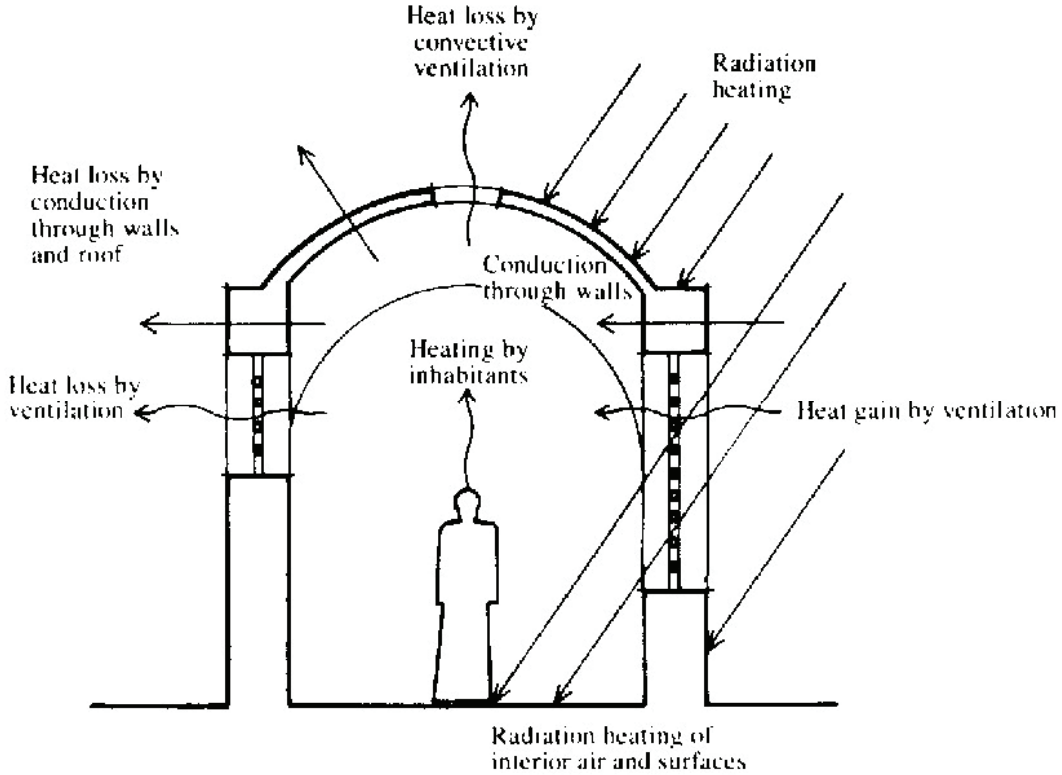



*Figure 2-19 Les différents processus de gain et de perte de chaleur dans l'habitat selon Hassan Fathy.*
*Source: Fathy*

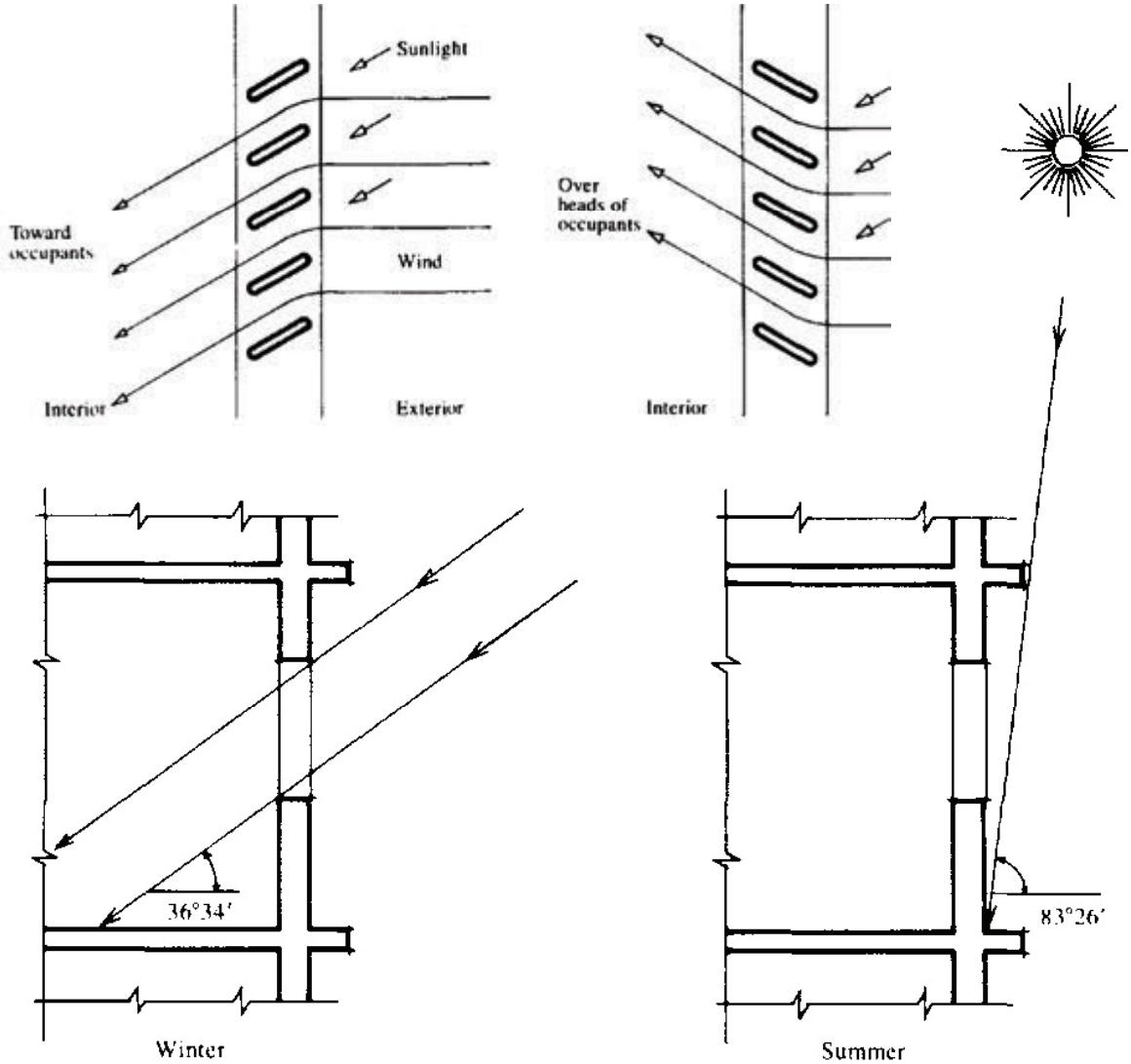



*Figure 2-20 Incidence du soleil en climat chaud en hiver et été selon Hassan Fathy et incompatibilité entre le blocage solaire et les courants d'air vers les pieds et pas sur le visage.*
*Source: Fathy*

qui reçoivent de loin la plus grand partie de la radiation solaire dans les mois défavorables et il conseille des murs aveugles. Il ne mentionne pas les problèmes de surchauffe au S pendant la fin de l'été lorsque le soleil commence à être bas.

Il propose au N les chambres avec une lumière très constante toute la journée et au S des éléments de façade comme des balcons, vérandas, galeries, arcades, stores vénitiens ou moucharabieh. Cependant il déconseille les stores vénitiens avec des lattes fines de 5 cm et relativement serrées tenues par un cadre en bois autour de la fenêtre. Le désavantage principal est le manque de flexibilité pour permettre la vue, le vent ou le blocage du soleil en même temps et graduellement en fonction des situations (Figure 2-20). Cependant, les lames de protection solaire ne pourraient pas dévier un flux d'air de manière aussi évidente que l'interprétait Hassan Fathy dans ces dessins, il s'agit plus d'une vision décalée de la réalité physique du passage de l'air à travers des lames planes inclinées.

Il nous prévient aussi du danger des lattes métalliques qui ré-radieraient le soleil à l'intérieur de la maison une fois bloqué par les lattes. Il critique aussi le brise-soleil du fait de l'obturation de vue qu'il fait en permanence. Pour lui le moucharabieh est une solution optimale de par les cinq fonctions qu'il vient assurer : contrôle solaire, contrôle de la ventilation, réduction de la température de l'air passant, humidification de l'air passant et voile de privacité. La forme ronde du réseau d'interstices du moucharabieh (Figure 2-21) permet un passage du vent avec moins de turbulences et donc un écoulement avec moins de friction, cette même forme ronde permet aussi que la lumière incidente impacte la surface et reflète la lumière à l'intérieur de façon graduelle et cela permet d'éviter l'éblouissement qui serait généré par une plaque lisse avec une surface mono-orientée. Il explique que la fibre de bois du moucharabieh absorbe une grande quantité d'humidité pendant la nuit pour la restituer à l'air passant pendant le jour, ce qui permet de refroidir l'air passant aux moments de grande chaleur. Cependant il n'apporte pas à cette affirmation des données quantitatives du refroidissement produit ni de la quantité de vapeur d'eau apportée ou captée. Cette vision culturaliste et identitaire fort compréhensible d'Hassan Fathy semble perfectible car elle se montre peu fondée du point de vue de la compréhension des phénomènes physiques, notamment sur la turbulence de l'air et la régulation hygrothermique grâce à de micro-fissures dans le bois du moucharabieh.

**2- Toiture**

Il conseille de projeter une ombre portée sur la toiture, de l'isoler ou de la végétaliser. Cependant l'isolation, nous rappelle-t-il, n'est pas à la portée financière de tous, et la végétalisation est psychologiquement délicate car les habitants des zones rurales aiment être sous les feuilles et les branches mais ils n'aiment pas habiter sous les racines des plantes, cela leur donne des évocations funèbres. Ainsi il recommande la protection de la toiture protégée par un élément rapporté qui puisse projeter de l'ombre portée durant la journée et créer des espaces appropriables en soirée sur le toits. Il propose des toitures semi-sphériques avec l'argumentaires de l'espace, le confinement de l'air chaud plus loin des utilisateurs, et la mise en oeuvre de l'effet de Bernoulli par la forme ronde qui fait accélérer la vitesse de l'air en passant et diminue la pression de la zone favorisant l'aspiration de l'air chaud qui lui est concentré dans la partie haute de la coupole. Celle ci est a nouveau une vision culturaliste dans la ligne de pensée de Hassan Fathy. Deux autres caractéristiques sont mentionnées : un moindre impact du soleil sur la structure et l'avantage d'avoir toujours une partie de la coupole à l'ombre dont sa partie intérieure pouvant absorber les rayonnements de l'autre partie intérieure au soleil. Cependant de notre point de vue ces deux arguments sont á prendre avec precaution : pour le premier, même si le soleil est reparti sur une plus grande surface donc moins intense, la surface est tout de même importante donc elle peut apporter davantage de gains solaires. Le deuxième argument n'est pas non plus valide a notre avis car même si une forme ronde permet d'avoir une zone non exposée et une zone exposée, cette dernière reçoit le soleil perpendiculairement toujours et donc devra se réchauffer davantage comparée avec une toiture plate. Dans ces deux arguments nous pensons qu'il n'y a pas davantage relatif entre les deux typologies de toit.

**3- Cour intérieure**

Fathy est très favorable à la construction d'une cour intérieure, un de ses arguments principaux est celui de la stratification de l'air froid de la nuit et de sa conservation pendant une grande partie de la journée, si le soleil n'arrive à entrer que tardivement et elle est protégée des vents chauds extérieurs. Ainsi elle peut fournir de l'air frais aux chambres durant la première partie de la journée. Un autre argument important est l'appréhension que les habitants des climats chauds ont les rez-de-chaussée exposé directement à l'extérieur , ce qui est synonyme de poussière, chaleur, et vent. Il propose une solution avec deux cours intérieures, une plus exposée que l'autre et entre les deux la création d'un espace utilisé dans l'architecture vernaculaire appelé « takhtabush », qui est un espace couvert mais ouvert aux deux cours et qui sert de zone d'agrément pour les résidents : entre les deux cours intérieures il se crée un courant d'air frais allant de la cour froide a la cour chaude (Figures 2-22 et 2-23).

**4- Tours à vent**

Il développe les différentes typologies existantes de tour à vent, le « malqafs » et le « Badgir », la version

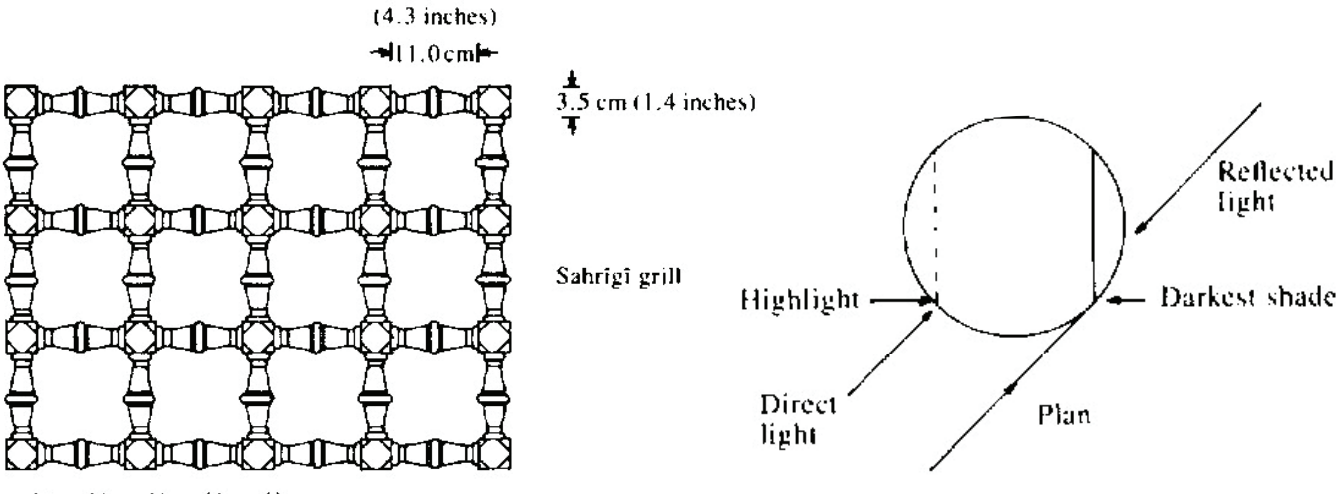



*Figure 2-21 Détails d'un motif de moucharabieh et coupe transversale circulaire de la grille. Source: Fathy*

*Figure 2-22 Système de patios dans le tissu urbain de Tunis*
*Source: Fathy*

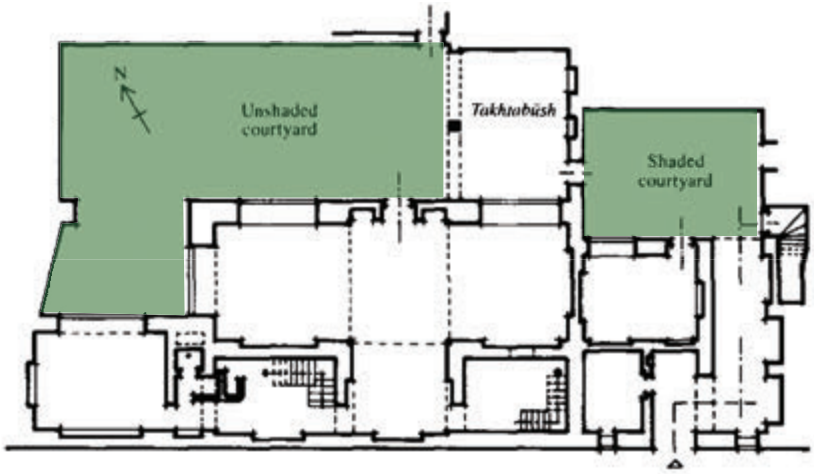



*Figure 2-23 Système de takhtabush entre deux patios dans une maison traditionnelle à Darb Al-Usta, Cairo.*
*Source: Fathy*

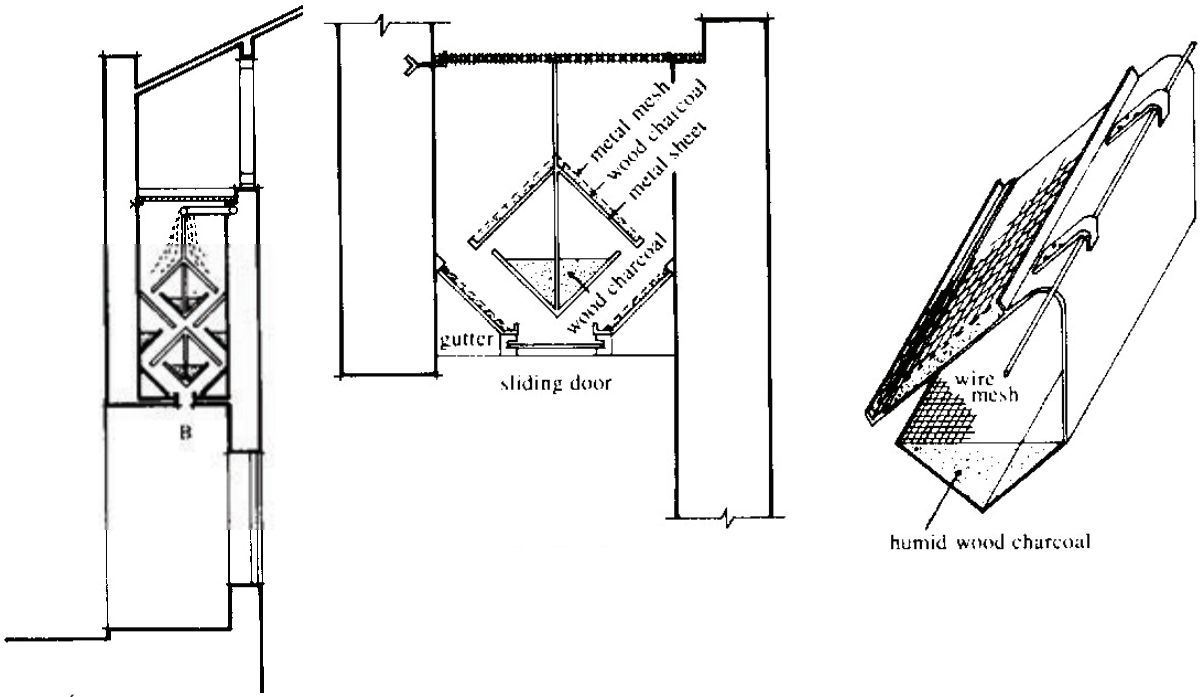



*Figure 2-24 Éléments de rafraîchissement adiabatique avec un système en charbon de bois mouillé dans des malqaf*
*Source: Fathy*

à deux ou quatre cotés dans les pays du Golfe. Il montre comment refroidir l'air davantage avec des éléments de charbon mouillé et suspendu au milieu du passage du vent (Figure 2-24). Cette technique ne peut s'utiliser, bien entendu, que lors que les niveaux d'humidité relative le permettent.

### 2-1-3- Georges et Jeanne-Marie Alexandrof (1923)

Georges Alexandrof fut l'un des pionniers de l'énergie solaire. En 1972, il enseignait déjà l'architecture solaire avec Jeanne-Marie Alexandrof de Buchère à l'école d'architecture de l'avenue de Flandres à Paris 19ème, ancienne Unité Pédagogique 6 et future ENSA de Paris-La Villette.

1973 – Projet de gîte-étape en Tunisie. Avec Alain Liébard, son associé et ex-président de l'Observatoire des énergies renouvelables, ils ont exploré des champs qui étaient révolutionnaires pour l'époque : du chauffe-eau solaire au stockage inter-saisonnier de l'énergie, de l'électrification rurale pour le développement en Afrique au dessalement des eaux saumâtres, de la maison solaire industrialisée pour le plus grand nombre au village positif en énergie

1973 – Équipements sociaux et médicaux pour un oasis en Algérie.

Durant ces années, ils ont déposé à l'Institut national de la propriété industrielle (INPI) une cinquantaine de brevets dont bon nombre ont pu être étendus à l'étranger. Par les mots de Alain Liébard : «Georges Alexandrof est le génial visionnaire qui a su décrypter avant l'heure l'évolution du monde, mais aussi faire la synthèse entre les approches humanistes, scientifiques et technologiques. Nos travaux communs très concrets, la plupart perçus à l'époque comme utopiques, étaient regardés certes avec sympathie, mais aussi souvent avec condescendance. Nous avons longtemps été en décalage.»

Il a écrit un livre de référence : «Architecture et climat» en 1982 avec sa femme Jeanne-Marie Alexandrof de Buchère, et publie ensemble l'ouvrage aux éditions Berger-Levrault. Dans cet ouvrage ils décrivent les différentes typologies de l'architecture vernaculaire dans tous les climats, du froid au chaud et du sec aux climats humides. Dans le cadre de cette étude c'est intéressant ses études sur le Megaron, typologie d'habitat provenant de l'antiquité, dont on retrouve ses préceptes tout le long de la méditerranée jusqu'au la Syrie et Iran. Ce typologie est un bon exposant de la construction bioclimatique avec des connaissances technologiques modestes. Notamment la protection de l'environnement extérieur retournant l'habitat vers une cours intérieur ou la graduation des espaces exposés de très ouverts et publiques à très intimes et reclus à l'intérieur. L'importante masse thermique des matériaux qui le constituaient et la ventilation transversale favorisée par des ouvertures en partie haute de la cours couverte permettaient de graduer et de lisser les pics des températures en été.

### 2-1-4- Auteurs récents

#### 2-1-4-1- Jean Louis Izard

Architecte, Enseignant-chercheur à L'ENSA Marseille jusqu'en 2011, au sein du Laboratoire ABC, dont il fut le directeur jusqu'en 2011. Il a consacré ses travaux aux relations climat/architecture/confort/énergie dans le contexte méditerranéen, il est l'auteur de l'ouvrage « Architectures d'été » qui reste une des références françaises sur la construction en climat chaud. Jean Louis Izard propose une méthode basée sur l'influence des paramètres de conception architecturale. Ces paramètres sont regroupés en six grandes groupes :

1- Protection solaire : orientation, dimensions des vitrages, masques, ombrage toits et murs, rideaux
2- Ventilation : régime de ventilation, ouvertures perméables, ventilation transversale et nocturne
3- Inertie thermique : constante de temps, contact avec le sol
4- Isolation thermique
5- Refroidissement passif : par l'eau, par rayonnement

Il souhaite connaître l'influence de chaque paramètre, mais face à la complexité prévisible de toutes les interactions il propose des faire varier seulement trois paramètres :

- Inertie thermique
- Contrôle de l'ensoleillement
- Régime de ventilation

Tout en laissant fixes les autres paramètres, Il analyse le comportement de son modèle thermique sous un climat tempère chaud et deux journées types : «Chaleur moyenne» et «Chaleur extrême» avec une température extérieure de 19ºC à 28ºC et 20ºC à 34ºC respectivement. Le modèle n'a pas de système de refroidissement et il exprime sa réponse physique au contexte extérieur par la hausse (ou baisse) de sa température intérieure. Les conditions intérieures sont classées en quatre groupes en fonction des valeurs des températures minimales et maximales atteintes: bonnes ($T^a$<27ºC), acceptables, mauvaises et très mauvaises

(Tª<31ºC). Pour représenter les résultats, il propose un tableau à trois entrées (Figure 2-25b) qui montre ces conditions intérieures dans la pièce.

Pour montrer d'avantage l'effet de la combinaison des paramètres, il crée quatre modèles avec deux des ces trois paramètres, inertie et protection solaire, fixes tout en ayant des valeurs différentes dans chacun des quatre modeles (Figure 2-25c). Ces quatre modèles sont soumis a une variation du troisième paramètre, la ventilation, avec les options : «ventilation nulle» et «ventilation nocturne». Ceci est fait pour le climat francais du litorale méditerranéen. Cette methode montre les debuts des simulations thermiques et des methodes de conception s'appuiyant sur ces outils. Les logiciels utilisés en 1993 furent : «CASAMO CLIM», «CODYBA», «OASIS», «SIMULA» et «COMFIE». Cependant les cas des températures etudiées restent tres loin des températures des climats très chauds que nous traitons de préférence dans cette étude, meme si sa methode est tout a fait intéressante d'un point de vue méthodologique.



### 2-1-4-2- Micheel Wassouf

Cet auteur propose un ouvrage qui tente de transposer les principes des maisons passives européennes aux maisons en climat méditerranéen. Nous avons trouvé l'ouvrage comme l'exercice dogmatique d'une transposition directe des principes du climat froid «Passivhaus» au climat chaud, ainsi les propositions restent sur une maison aux isolations importantes, une excellente étanchéité à l'air et une protection solaire adéquate, mais aucune proposition innovante ou spécifique au climat chaud n'est proposée.

### 2-1-4-3- Thiérry Salomon et Claude Aubert

Spécialistes de l'habitat de basse consommation et des solutions écologiques en chauffage et rafraîchissement, ils publient l'ouvrage, Fraîcheur sans Climatisation apparu en 2004. Dans cette ouvrage, ils proposent toute une série de solutions bien organisées par grands thèmes, l'objet n'est pas de passer en revue toutes les solutions du livre, cependant nous trouvons que le sommaire en soit montre déjà une base intéressante d'une stratégie climatique de conception. Les principaux point abordés dans son ouvrage sont :

1- Protéger la maison du soleil : murs et toits végétalisés, effusivité des murs, protections solaires

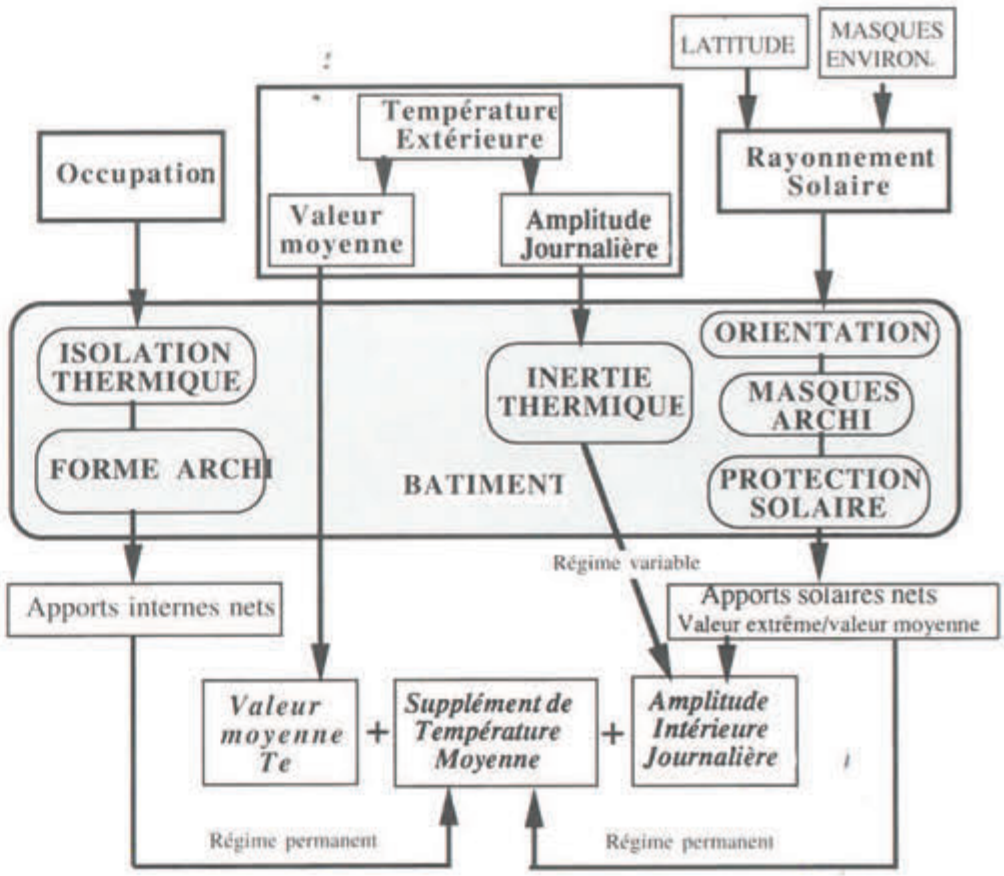



*Figure 2-25a Schéma montrant l'influence des paramètres architecturaux dans la valeur de la température intérieure d'un local*
*Crédit: JL IZARD*

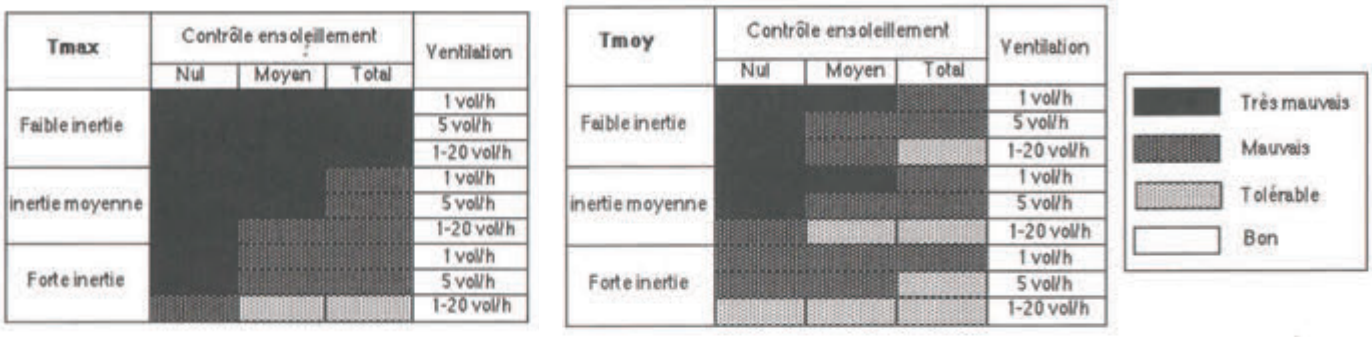



*Figure 2-25b Récapitulatif de résultats des interactions entre paramètres sur la température maximale (gauche) et la température moyenne (droite)*
*Crédit: JL IZARD*

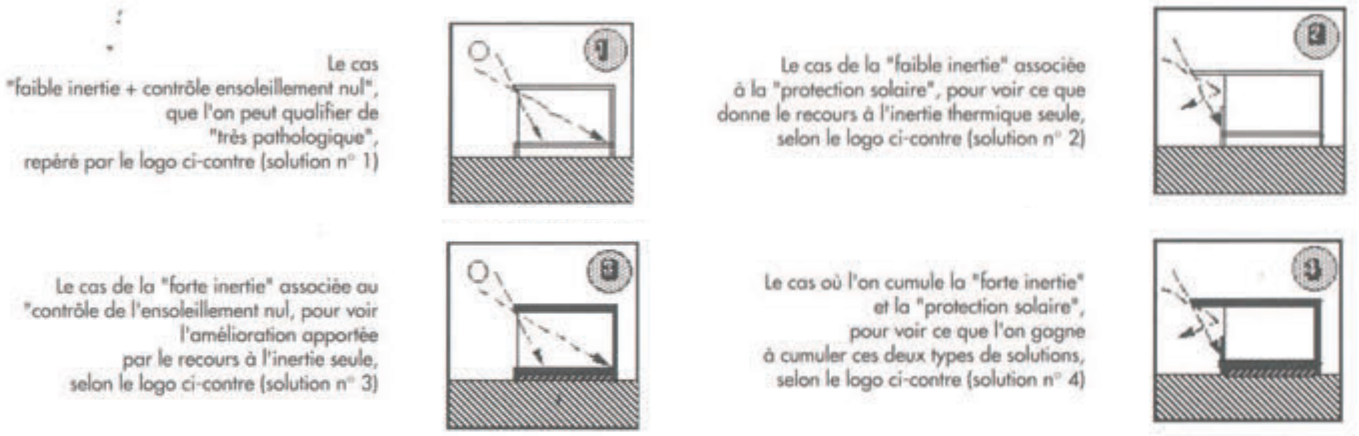



*Figure 2-25c Récapitulatif de résultats des interactions entre paramètres sur la température maximale (gauche) et la température moyenne (droite)*
*Crédit: JL IZARD*

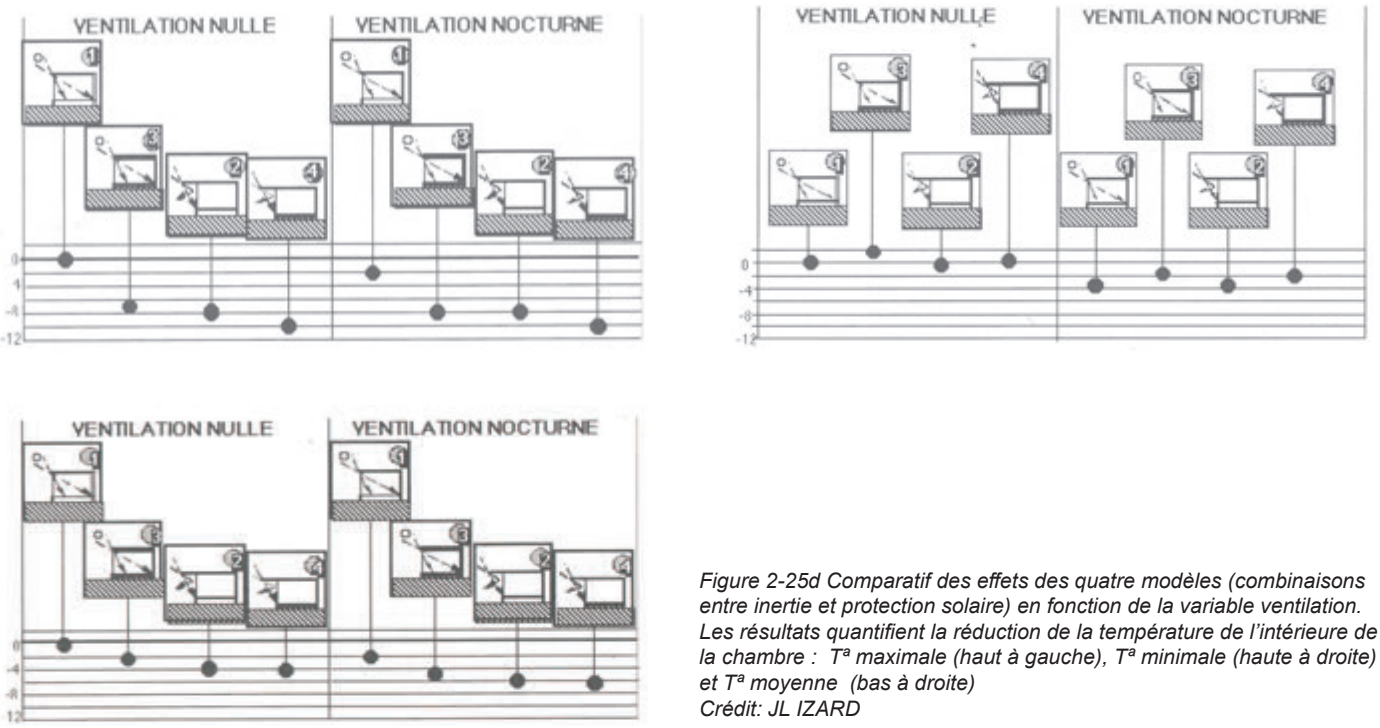



*Figure 2-25d Comparatif des effets des quatre modèles (combinaisons entre inertie et protection solaire) en fonction de la variable ventilation. Les résultats quantifient la réduction de la température de l'intérieure de la chambre : T[a] maximale (haut à gauche), T[a] minimale (haute à droite) et T[a] moyenne (bas à droite)*
*Crédit: JL IZARD*

2- Protéger les fenêtres du soleil : volets, rideaux et films solaires
3- Empêcher la chaleur de rentrer : isolation et gestion de l'air chaud rentrant
4- Inertie thermique
5- Les apports de chaleur internes
6- Aider le corps a lutter contre la chaleur : transpiration, vêtements, ameublement, hydratation
7- Rafraîchir en ventilant : ventilation naturelle, brassage de l'air, sur-ventilation nocturne, puits
8- Rafraîchir par évaporation : brumisateur, rafraîchisseurs adiabatiques, les fontaines

Leur approche d'organisation des actions possibles sur un bâtiment est intéressante. Nous constaterons plus tard dans cette étude des similitudes dans leur approche et la notre.



### 2-1-4-4- Stan Cox

Travaillant au Land Institute de Salina, Kansas, il a écrit sur des issues environnementales pour des journaux comme le Washington Post ou Los Angeles Times. Il a une ligne très critique envers l'utilisation de la climatisation de la façon où elle est utilisée aujourd'hui aux États Unis. Il est l'auteur de deux ouvrages connus dans les milieux écologistes et scientifiques militants : «Lossing our Cool» (2010), et «Sick Planet: Corporate food and Medicine» (2008). Ses propositions pour réduire la consommation énergétique due à la climatisation sont les suivantes :

**1- Dimensionnement des centrales de climatisation**

Il propose d'arrêter la tendance qui consiste à sur-dimensionner la taille des centrales de climatisation domestiques. Avec une dimension plus raisonnée même si cela implique une saturation des performances pendant quelques heures supplémentaires, il prévoit des économies de 25% de la consommation (Nasution-2006)

**2- Refroidir les occupants et pas le logement**

Il propose de cibler l'environnement proche des habitants sans pour autant refroidir tout le logement. Pour ce faire, il propose des systèmes manuels activés par les personnes plutôt que des systèmes de thermostats automatiques qui font que les espaces sont en permanence climatisés. Il propose de laisser se chauffer les locaux non utilisés et de créer une isolation meuble ou mobile dans ces locaux avec des tapis ou autres pour favoriser la réactivité de ces locaux pour son retour au froid, de mettre dans les fenêtres des senseurs indiquant que la température extérieure est dans le seuil de confort pour que les personnes puissent avoir le réflexe d'ouvrir et favoriser la ventilation naturelle. Il propose aussi l'utilisation de la cave comme moyen efficace de refroidir en été, en argumentant que même si l'humidité y est toujours plus présente, la différence de température rend plus facilement acceptable les niveaux d'humidité et que l'équipement de climatisation n'a besoin que de descendre au plus quelques dègrées pour que le confort soit acquis. Un autre argument : avec une quantité d'énergie donnée, il est plus efficace en termes de sensation de confort de descendre la température que de déshumidifier l'air.

**3- Réduction des charges de chaleur dans la maison**

Il argumente que cuisiner avec des feux ouverts dans une maison climatisée est très incohérent. Cela nous donne des idées de compartimentage des espaces de cuisine à faire autrement. Les charges thermiques apportées par d'autres équipements comme les fours, le frigo, les machines à café..etc, pourraient être gérés dans des locaux ventilés ou déjà tempérés en dehors de le périmètre rafraîchie de la maison. Il propose même des systèmes qui pourraient chauffer l'eau chaude sanitaire avec l'air chaud sortant de la climatisation avec des économies faites de 50€ à 150€ par année (www.progress-energy.com).

**4- Ventilateurs**

L'usage de ventilateurs est une piste importante d'économie : selon ASHRAE une vitesse de l'air intérieur de 0,8 m/s peut permettre d'augmenter le thermostat de la climatisation de 2,6ºC. Il nous previent sur le fait qu'utiliser le ventilateur avec la climatisation peut être contre productif car nous ne profitons pas de la stratification d'air frais qui se fait en partie basse de la pièce et nous ramenons l'air chaud vers le bas.

**5- Toitures froides et végétalisées**

Les toitures blanches ou très claires peuvent impliquer des économies d'énergie de 15% à 40% dans le cas des maison individuelles non isolées (Akbari-2005). L'utilisation de la végétation environnante est très souhaitable en façades S, SW et W avec des arbres à tige haute. L'utilisation de plantes grimpantes comme les vignes peuvent aussi avoir une forte influence sur la radiation sur les murs. Les toitures végétalisées ont des effets très efficaces sur la température intérieure, en été par l'évapotranspiration des plantes, l'isolation thermique additionnelle et la masse thermique de déphasage de l'onde de chaleur. Cependant les toitures végétalisées peuvent être rapidement très consommatrices d'eau et représenter des problèmes par une éventuelle invasion

végétale mal gérée par les dispositifs architecturaux. En tout cas, contrairement aux toits clairs qui reflètent la radiation du soleil, les toits végétalisées servent aussi en hiver car ils absorbent même les radiations solaires bénéfiques si la maison a besoin d'être chauffée. Cependant et comme rappelé anterieurement une toiture végétalisé est tres consomatrice en eau et donc il faut rester tres prudent en fonction du contexte et de la disponibilité de la «ressource eau».

### 2-1-5-1- Peter St Clair

Ce chercheur australien livre dans plusieurs articles sur des stratégies de l'architecture passive à appliquer dans les UAE.

**1- Bâtiments de grande hauteur versus maisons et petits collectifs**

Les bâtiments de grande hauteur sont généralement considérés comme des consommateurs de plus d'énergie que les petits collectifs par la communauté internationale (Bahaj- 2008, Wood-2007, Givoni-1998, Hausladen-2005). Les niveaux de radiation solaire sont aussi plus importants dûs au manque de bâtiments périphériques pour créer de l'ombre aussi facilement que pour les maisons ou collectifs de petite hauteur. La pression du vent à des grandes hauteurs ne permet pas non plus d'installer des protections solaires extérieures ni de fenêtres ouvrables. Du fait précèdent, ils sont généralement très étanches et ils doivent dépendre davantage de moyens mécaniques de ventilation. Cependant par ce potentiel d'exposition au vent et pendant les mois frais, des systèmes passives favorisant la ventilation naturelle et transversale pourraient facilement être intégrés dans leur enveloppe extérieure, par contre ces mesures de ventilation transversale ne sont valables que si les appartements sont traversants, ou que lorsqu'on peut intégrer des ailes en façade pour que le vent puisse circuler à l'intérieur même si la façade est mono-exposée (Givoni-1998). Pour cette raison, les appartements qui se distribuent autour un même noyau de escalier peuvent avoir plus facilement accès à plusieurs façades favorisant la ventilation traversante même avec des petites pressions du vent.

Les maisons individuelles n'ont pas trop de problème pour obtenir une ventilation traversante par contre elles ont une surface d'enveloppe beaucoup plus importante et de ce fait la radiation solaire et l'exposition à un environnement thermiquement hostile est majeur. Le toit des maisons est la surface la plus exposé, aggravé par le fait que dans ces latitudes le soleil est très vertical. Cette exposition au soleil invite a proposer sur la toiture une série d'éléments de captation énergétique pour que la toiture devienne un vrai atout énergétique pour la maison plutôt qu'une charge thermique. Les maisons de ville, maisons adossées le long d'une voie urbaine, présentent à son avis les avantages des tours: compacité et possibilité des effets cheminée, et les avantages des maisons individuelles pour la recherche de la ventilation transversale. Les cours extérieures des maisons permettent d'obtenir plusieurs atouts comme la captation et le maintien de l'air frais de la nuit à l'abri des vents chauds de l'extérieur. Certaines études (Aldawoud-2008) montrent comment ce mode constructif serait très bénéfique s'il était correctement utilisé aux UAE.

**2- Couleur extérieure**

Il mentionne la couleur des bâtiments et comment le blanc permet de faire de grandes économies de surchauffe des surfaces exposées (Cheng-2005, Givoni-1998) à un prix très compétitif.

**3- L'isolation et la masse thermique**

Elles sont abordées, la première, l'isolation, comme nécessaire. La masse thermique est considérée comme intéressante dans les mois frais, mais moins dans les mois chauds les températures étant au-dessus de celles de confort et la masse thermique ne servant pas.

**4- Ombrage**

C'est une des mesures les plus pertinentes pour ce type de climat dû aux niveaux importants de radiation du soleil. L'ombrage peut s'obtenir par des astuces en façade, des balcons, des colonnades, végétation déportée... . Il est possible aussi de porter de l'ombrage par des lames extérieures. Elles auront des formes différentes selon les façades, Peter St Clair propose des lames horizontales au S, des cadres épais autour les fenêtres au E et W et des lames verticales au Nord. Cependant il nous met en garde contre les niveaux de radiation par albédo et la radiation solaire et infrarouge reflétée par les bâtiments voisins, ce qui rend les brises-soleil extérieurs moins efficaces que dans la théorie du bâtiment sans son contexte.

**5- Orientation et vitrage**

La conception de la façade, ouvertures et orientation des façades principales a un impact majeur dans la consommation énergétique des bâtiments. Le contexte climatique des pays du Golfe, radiation et clartés des ciels, font que les systèmes de murs rideaux tout vitrés sont très inappropriés (Hausladen-2005) pour la région, même si beaucoup utilisés. Il mentionne la surchauffe et l'éblouissement comme étant critiques et les façades plus opaques répondant mieux aux contraintes climatiques. Plusieurs typologies de vitrages sont proposées comme solution partielle à la surexposition vitrée des façades : d'abord des vitrages avec un facteur

solaire, G, faible qui donnent des façades extérieures très réfléchissantes sont considérées par Peter St Clair comme dangereux car elles envoient les radiations ailleurs dans l'espace urbain. En alternative il propose une série de vitrages à hautes performances mais pas vraiment encore disponibles sur le marché actuel comme les double vitrages avec un vide d'air à l'intérieur ou l'aérogel. Le vitrage avec vide d'air est difficile de mettre en oeuvre à cause de la contrainte de la sous-pression dans la surface de verre. Ainsi les surfaces de vitrage libre de cadre sont mineures, et le prix reste encore très élevé. Il propose aussi le vitrage en aérogel, sauf que cette technologie très intéressante pour la luminosité intérieure ne permet pas de se substituer aux fenêtres car la finition est translucide et pas transparente. Cependant pour profiter de cette technologie les fenêtres actuelles d'un bâtiment pourraient être divisées en deux fonctions, lumière et vue, et la partie des ouvertures nécessaires pour la lumière pourraient-elles en effet être en aérogel. La marque «Lumira» propose déjà ces applications dans des multitudes de projets. L'aérogel est cependant très fragile à cause de sa faible résistance à la traction et flexo-traction, ceci implique des renforts particuliers sur les façades exposées au vent. La valeur de sa conductivité thermiques lamda est de 0,02 W/mK, deux fois plus performant que la laine de verre ou le XPS, cependant des épaisseurs équivalents pour avoir les même performances que un mur isolé de 100 mm de laine de verre donnent 50 mm de aérogel. Ce produit a nenamoins des prix qui ne sont pas encore abordables dans le marché du bâtiment actuel. Le vitrage électrochimique est mentionné comme alternative, pouvant induire des réductions énergétiques intéressantes (Hausladen-2005). Concernant l'exposition des ouvertures, Peter St Clair mentionne la possibilité de retourner les ouvertures vitrées du bâtiment sur des cours intérieures protégées du soleil comme c'est le cas de la National Commercial Bank à Jeddah, ou les fenêtres donnent toutes sur des espaces ouverts à la lumière naturelle mais aucune en façade extérieure.

**6- Double peau**

La protection des façades par une double peau qui protège l'enveloppe thermique de la radiation solaire directe est prouvée comme très bonne solution en climat chaud et humide (Wong-2008), et en moindre mesure en climat chaud et sec par manque d'information et recherche scientifique récente.

**7- Taille des fenêtres**

La limitation de la taille des fenêtres et du pourcentage de fenêtres par rapport a la surface extérieure peut induire des économies de 55% (Fathy-1986) et son ratio devrait être limité entre 10% et 20% de vitrage par rapport à la surface totale (Aboulnaga-2000).

**8- Construction légère**

Ce type de construction peut être intéressant si la maison est inoccupée une grande partie de la journée et utilisée le soir et la nuit. La légèreté de la structure permet une réactivité plus importante et la journée elle peut rester à des températures hautes tout en revenant rapidement à des températures de confort lorsque les habitants rentrent le soir.

**9- Eclairage naturel**

Les niveaux d'éclairage naturel à l'extérieur des bureaux varient entre 75000 lux à 107500 lux, ce qui représente des niveaux bien plus importants que sous nos latitudes. Ceci permet un usage moindre des surfaces vitrées et une augmentation de la profondeur des espaces par rapport aux façades vitrées de 9 m (Baker-2000, Bagot-2007) alors qu'en France 7 m est une limite courante.

Ses conclusions sont que toute la littérature scientifique, y compris une grande partie des recherches récentes, montre les modèles traditionnels de l'architecture local stratégiquement bien plus efficaces que les modèles importés de l'architecture internationale. Cependant le climat extrême des régions du Golfe et l'augmentation des exigences en confort font qu'il est impossible aujourd'hui se passer de l'utilisation de la climatisation, même si cette dépendance est bien plus marquée dans les modèles importés. Nous devons aussi critiquer certains points de vue de Peter St Clair comme l'optimisation des architectures tres vitrées globalement inadaptées aux climats très chauds.

## 2-2- Les méthodes de conception en climat chaud à partir de modélisation des zones de confort hygrothermique

### 2-2-1- Le diagramme de Givoni

Le diagramme bioclimatique de Givoni ( Givoni1979) est un outil d'aide à la décision globale du projet bioclimatique permettant d'établir le degré de nécessité, et la typologie des grandes options telles que l'inertie thermique, la ventilation généralisée, le refroidissement évaporatif, puis le chauffage ou la climatisation. Il permet de situer les actions passives et actives possibles pour créer une situation favorable au confort thermique. Les actions passives sont de quatre types :

- des actions liées à la conception architecturale du bâtiment et à ses composants : masse thermique, avec ou sans sur-ventilation nocturne
- des actions liées à la ventilation transversale du bâtiment
- des actions liées au refroidissement adiabatique du bâtiment
- des actions liées aux systèmes de réchauffement solaire en hiver

Les actions actives sont utilisées dans le périmètre extérieur où les conditions sont les plus extrêmes en température ou en humidité, il s'agit de :

- des actions actives de refroidissement
- des actions actives de déshumidification

Si les conditions climatiques du lieu où de construction étaient toujours situées à l'intérieur du polygone de confort, on n'aurait besoin de construire des parois d'enveloppe que pour garder notre intimité, mais pas pour le confort thermique. Le diagramme bioclimatique trouve son utilité dès que les conditions climatiques s'écartent du polygone de confort : la distance qui sépare ces conditions des limites du polygone suggère dans le diagramme bioclimatique les solutions constructives et fonctionnelles (isolation de l'enveloppe, ventilation, inertie thermique, protection solaire, utilisation des systèmes passifs) qu'il faut adopter pour concevoir un bâtiment adapté. Il est construit sur un diagramme psychrométrique (appelé aussi diagramme de l'air humide). Sur ce diagramme sont représentées (Figure 2-27a) :

- la zone de confort hygrothermique tracée pour une activité sédentaire, une vitesse d'air minimale (en général 0,1 m/s) et les tenues vestimentaires moyennes d'hiver et d'été;
- l'extension de la zone de confort hygrothermique due à la ventilation par augmentation de la vitesse d'air de 0,1 à 1,5 m/s;
- la zone de condition hygrothermique compensable par l'inertie thermique associée à la protection solaire et à l'utilisation d'enduits clairs ;
- la zone de condition hygrothermique compensable par l'inertie thermique associée à la protection solaire et à l'utilisation d'enduits clairs que l'on cumule avec une ventilation nocturne
- la zone de condition hygrothermique compensable par l'utilisation de systèmes passifs de refroidissement par évaporation ;
- la zone de condition hygrothermique qui nécessitent l'humidification de l'air ;
- la zone de condition hygrothermique compensable par une conception solaire passive du bâtiment.

Par défaut, on peut donc comprendre d'un seul regard les conditions hydrothérapiques extérieures qui, quoi qu'on fasse au niveau de l'architecture, nécessitent le recours à un système de chauffage ou de climatisation. Le diagramme bioclimatique n'est pas un outil de dimensionnement précis du projet, comme peuvent l'être des outils de simulation numériques mais il constitue bien un guide pour aider l'architecte et ingénieur à prendre les bonnes décisions en phase esquisse. Sous réserve que les conditions du confort hygrothermique soient bien celles relatives à l'activité, à la tenue vestimentaire et à la culture des futurs occupants du bâtiment en projet, le diagramme bioclimatique est un outil dont la validité est universelle. Il peut donc être utilisé indifféremment en climat tempéré, chaud ou tropical. Le diagramme étant universel, il a un caractère local par la superposition d'un profil hygrothermique d'une journée-type de la station météorologique représentative du site de construction du projet. Les possibilités sont multiples : une journée froide d'hiver, une journée chaude d'été, une journée ensoleillée, une journée sans soleil, une journée ventée... . Pour les périodes d'été, il est intéressant d'utiliser le profil moyen des cinc jours consécutifs les plus chauds, de manière à voir quelles sont les solutions architecturales susceptibles de couvrir le risque lié à cette probabilité météorologique de dépassement. Certains logiciels utilisent ce diagramme pour établir des stratégies de conception (Figure 2-27b et c).

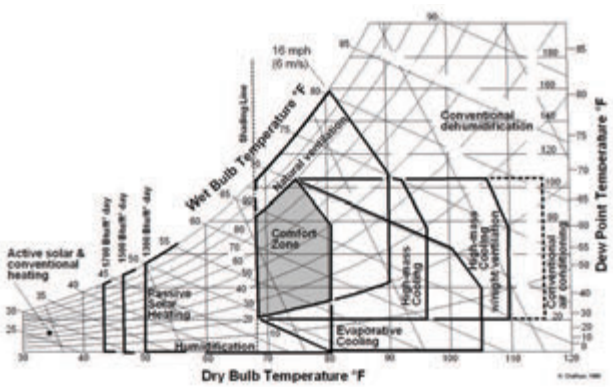



*Figure 2-27a Charte psychrométrique et plage de confort proposé par Givoni pour classification du climat d'un site.*

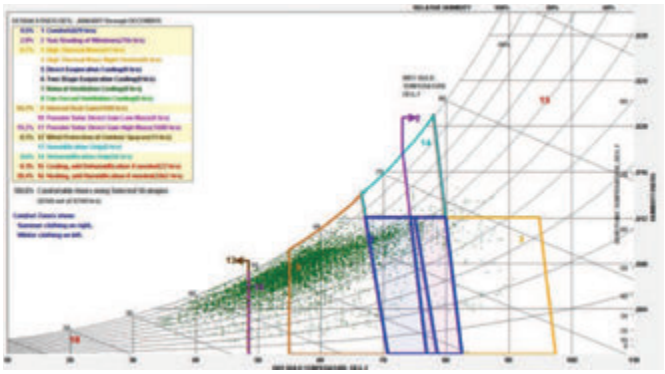


*Figure 2-27b Numérisation de la charte psychrométrique par logiciel de conception. En vert les points (tª,HR) du climat annuel d'un site . Les différents polygones représentent les stratégies de confort passives. Crédit: Autodesk*

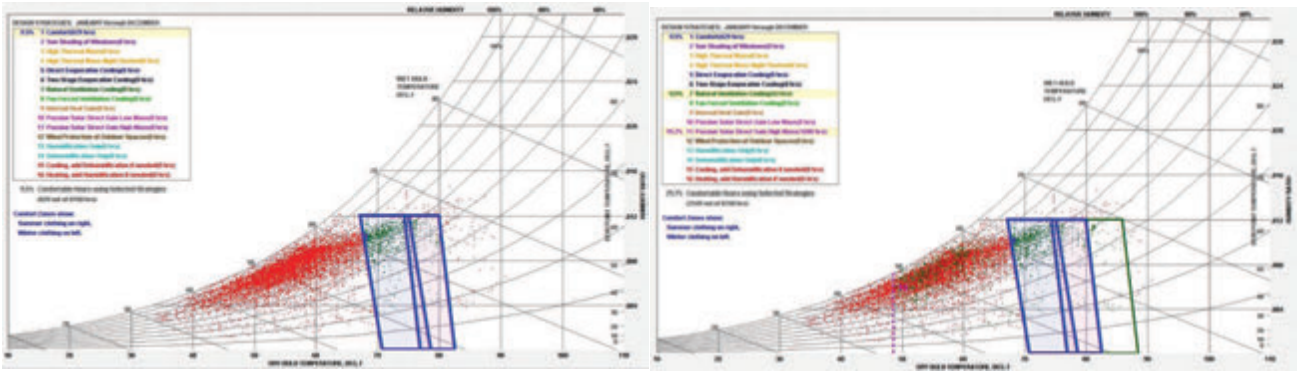


*Figure 2-27c Numérisation de la charte psychrométrique par logiciel de conception. Dans les différents cas des stratégies de confort sont testées afin de rentrer un maximum de points (tª,HR) dans l'enveloppe du confort. Crédit: Autodesk*

## 2-2-2- Les tables de Olgyay

Victor Olgyay (1910-1970) est né en Hongrie. Architecte et urbaniste, il devient professeur de l'université de Princeton jusqu'à sa mort en 1970. Il était l'un des pionniers de l'architecture de basse consommation et est l'auteur de plusieurs ouvrages sur l'architecture bioclimatique. Il est largement connu pour sa proposition de méthode basée sur la graphique dite «diagramme d'Olgyay» où il propose un approche simple à la question de la stratégie bioclimatique. Il a été chronologiquement le premier à approfondir la notion de confort thermique et à essayer d'établir des relations avec les ambiances intérieurs des bâtiments. La méthode assume que le confort thermique ne peut être estimé à partir du seul paramètre qu'est la température d'air, mais fait au contraire intervenir plusieurs factures tels que l'humidité et la vitesse d'air et la radiation solaire. Selon Olgyay (1963), il est difficile d'évaluer le confort de façon précise, car il est dépendant de plusieurs considérations qui varient d'une personne à l'autre. Cependant, en mettant en relation les quatre variables climatiques majeures intervenant sur le confort, Olgyay propose un diagramme bioclimatique de base et une zone de confort extensible qui est variable en fonction de la prédominance de certains facteurs liées aux principes de l'architecture passive (Figure 2-28). Ainsi, en climat froid, le rayonnement solaire peut être utilisé pour étendre la plage de confort à des températures plus basses. Une sensation de confort peut être ressentie si les pertes de chaleur du corps humain sont compensées par le rayonnement solaire. En dessous de 21°C une perte de 0.56°C en température ambiante peut être compensée par une augmentation de 0.45°C de la température radiante. En outre en climat chaud le diagramme montre que la zone de confort peut être étendue en incluant deux facteurs clef pour le confort en climat chaud : le vent et le refroidissement adiabatique. Ainsi pour des plages d'inconfort dues à une humidité trop importante, la solution d'augmenter la vitesse de l'air jusqu'au 3.5 m/s est envisagée, et par ailleurs, la solution de refroidissement adiabatique est proposée sous des conditions d'humidité relative basse dans des plages d'inconfort dues aux températures élevées. Il est difficile à appliquer et très limité dans des conditions intérieures où la température opérative et le métabolisme humain ont une influence importante sur le confort ressenti. Il reste cependant le premier essai de méthode d'aide à la conception bioclimatique, et donc de basse consommation, qui a certainement inspiré des architectes et des ingénieurs dans le développement de stratégies de conceptions passives.

## 2-2-3- Les tables de Mahoney

Carl Mahoney, architecte ayant fait ses études à Londres et son Doctorat à Hawai, a été directeur et

professeur de l'école d'architecture de Papua en Nouvelle Guinée. Sa contribution la plus notable à l'architecture bioclimatique fut le livre «Manual for the Thermal Design of Housing» édité par les Nations Unies en 1969. Dans ce manuel il propose une méthode de conception appelée « les tables de Mahoney» dans lesquelles une méthode de aide à la conception est proposé en fonction des températures mensuelles moyennes, maximales et minimales, ainsi que par rapport à l'humidité relative. Cette classification permet de nous orienter sur des choix de conception très spécifiques, aujourd'hui un peu obsolètes, comme la U-parois minimale ou si la cour intérieure devrait être grande ou petite. Les phases à suivre pour cette méthode par rapport à un site sont les suivantes :

Table 1- Température de l'air
Les températures max, min et moyenne pour chaque mois sont introduites dans le tableau.

Table 2- Humidité, Précipitation et vent
Les valeurs max, min et moyennes sont introduites et chaque mois est classé dans un type de «groupe de humidité»

Table 3- Conditions de confort
Le seuil souhaité, températures max et min acceptables, sont introduits et comparés à la table et il faut noter si les conditions créent un stress thermique de chaud ou de froid par l'écart entre les températures extérieures et les maximum et minimum acceptables.

Table 4- Indicateurs
Une certaine part de règle est fournie pour combiner le stress thermique (table 3) et les conditions d'humidité (table 2) et obtenir par mois six indicateurs qui s'additionnent pour donner une valeur par indicateur et par année.

Table 5 et 6 -Recommandations sommaires et détaillées de conception
Avec les totaux annuels par indicateur une série de recommandations sommaires et détaillées sont proposées, comme par exemple «20% d'ouvertures max dans l'ensemble des façades» ou «Toitures très massiques et isolées».

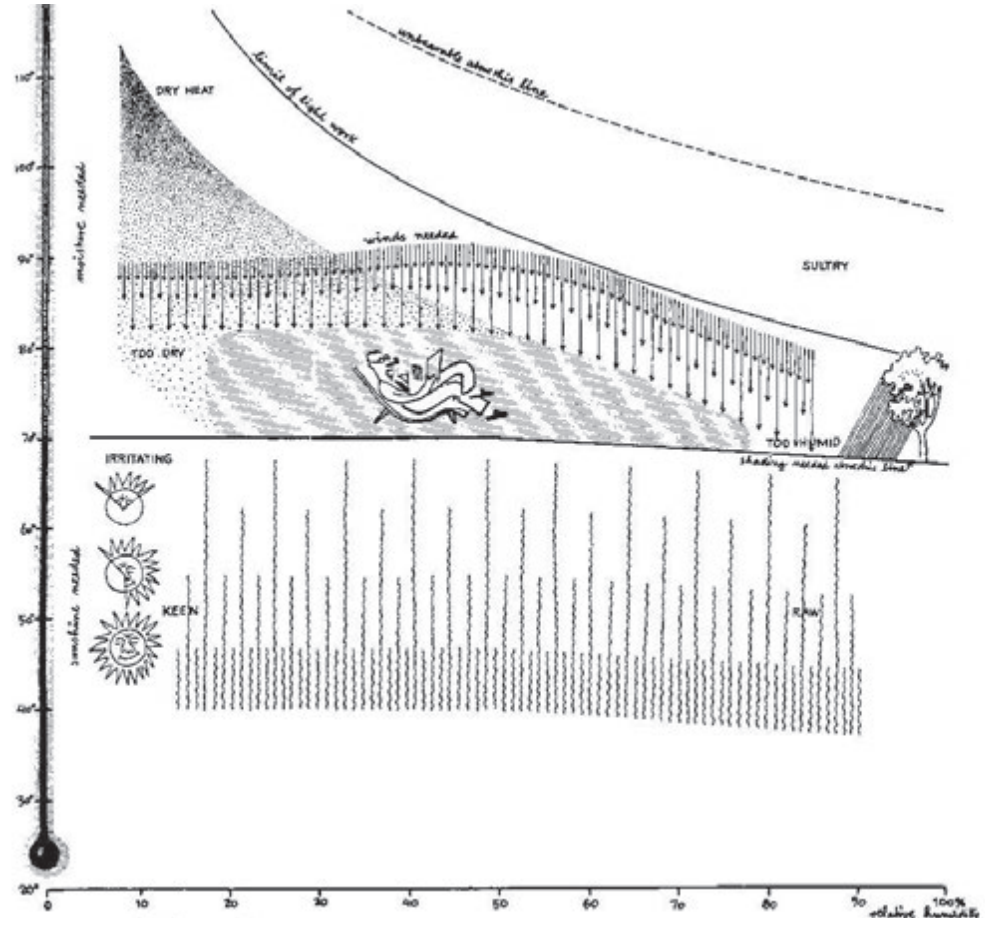



*Figure 2-28 Table de Olygay: rapport entre la vitesse du vent la radiation solaire et le confort ressenti. Crédit: Arch.Olygay*

La proposition est intéressante mais elle reste peu intuitive et trop laborieuse et rigide dans les propositions. Nous avons pu étudier certaines propositions (Hussein 2009) qui montrent que les résultats difficilement applicables par la connexion peu pédagogue entre les valeurs d'entrée et les résultats.

## 2-2-4- Méthode de la «Perceived Température» pour les espaces extérieurs

En 2013, nous fûmes contactés par le ministère de l'éducation supérieure, de l'Arabie Saoudite, Ministry of Higher Education , pour apporter des améliorations du confort aux usagers aux projets en cours de l'extension des villes de Médine et La Mecque. Pris dans une colossal projet, il fallait pouvoir apporter très rapidement une réponse architecturale bioclimatique à des bâtiments recevant un nombre gigantesque de visiteurs par jour. Il fallait trouver les meilleures actions bioclimatiques pour améliorer la sensation de confort dans l'espace publique extérieur. Conseillés par les bureaux d'études nous appliquâmes la «méthode de la température perçue extérieure», ou  percieved température (PT) . Cette méthode paramétrique est basée sur la variation des paramètres liés au confort extérieur dont leur combinaison donne une valeur de PMV. Ces paramètres (Figure 2-29) sont : la radiation directe, le vent, l'ombrage, l'habillage, la radiation diffuse et directe,  l'humidité relative et la température de l'air sec. La valeur du PMV (Figure 2-30) est associée à son tour à une valeur de Perceived Température, PT. Cette valeur veut s'assimiler à une température ressentie à l'extérieur avec une classification simple pour faciliter la compréhension des intervenants non initiés: chaud, très chaud, légèrement chaud (Figure 2-31). Cette méthode est similaire à l'approche du «Heat Index» mais en tenant plus en compte les paramètres qui caractérisent davantage le confort extérieur. Un même lieux peut avoir des valeurs PT

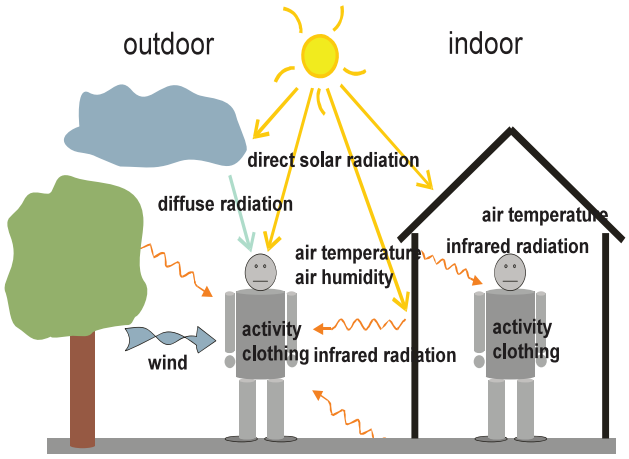



*Figure 2-29 Diagramme qui montre les paramètres climatiques ayant une influence sur le confort a l'extérieur.*
*Crédit: Transsolar et PolyRythmic Architecture*

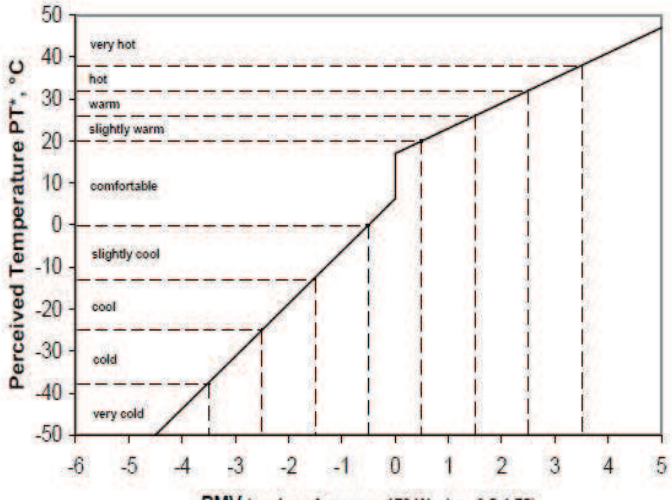



*Figure 2-30 Diagramme montrant le rapport entre l'index PMV et la PT*
*Source: Transsolar et PolyRythmic Architecture*

| Perceived temperature PT in °C | Thermal perception | Thermo-physiological stress |
|---|---|---|
| PT ≥ +38 | very hot | extreme heat stress |
| +32 ≤ PT < +38 | hot | great heat stress |
| +26 ≤ PT < +32 | warm | moderate heat stress |
| +20 ≤ PT < +26 | slightly warm | slight heat stress |
| 14 ≤ PT < +20 | comfortable | comfort possible |
| 0 ≤ PT < 14 | slightly cool | slight cold stress |
| –26 ≤ PT < 0 | cool | slight cold stress |
| –39 ≤ PT < –26 | cold | great cold stress |
| PT < –39 | very cold | extreme cold stress |

*Figure 2-31 Correspondance entre les valeurs de la température ressentie (PT) et la perception thermique*
*Crédit: Transsolar et PolyRythmic Architecture*

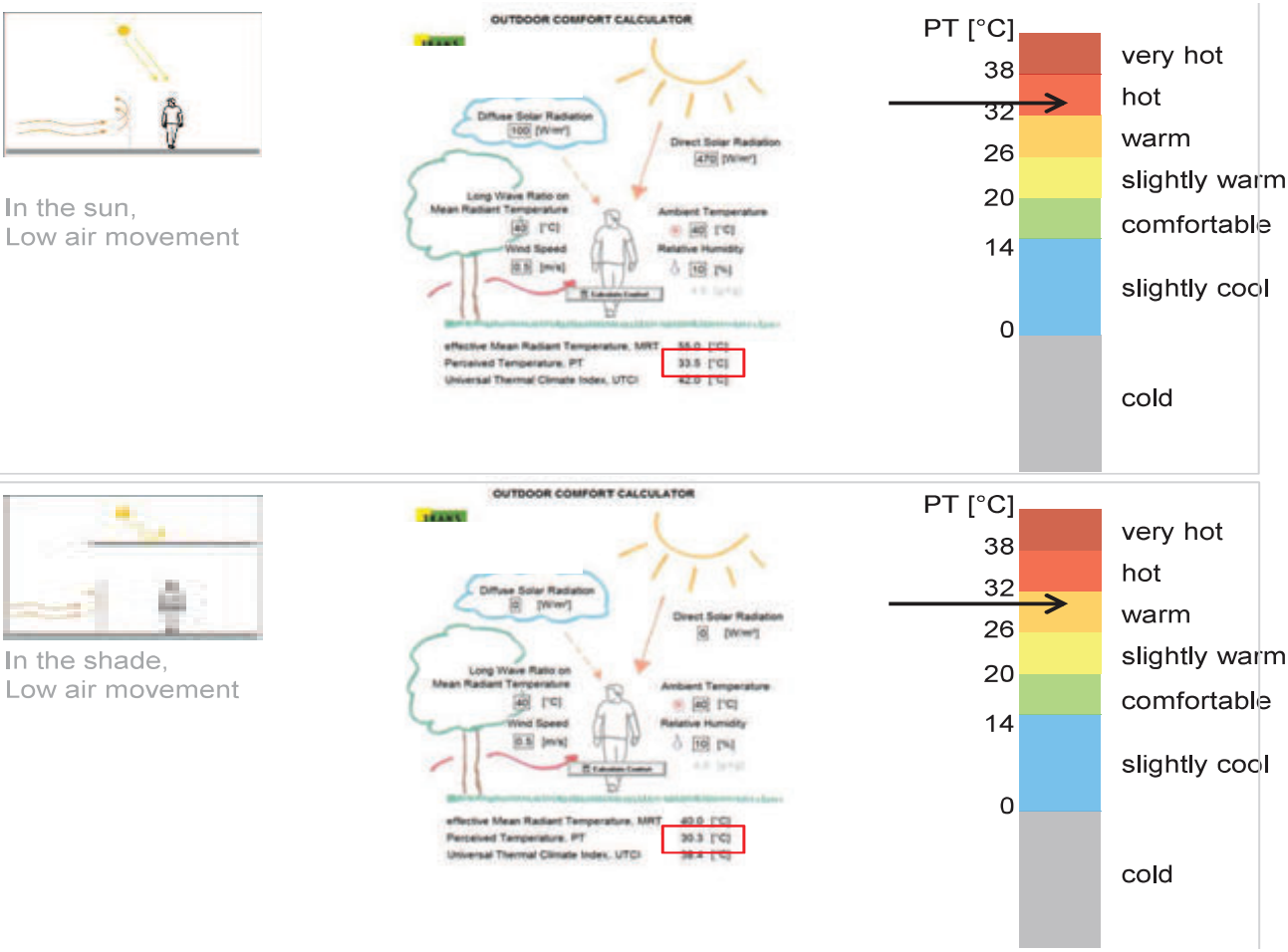
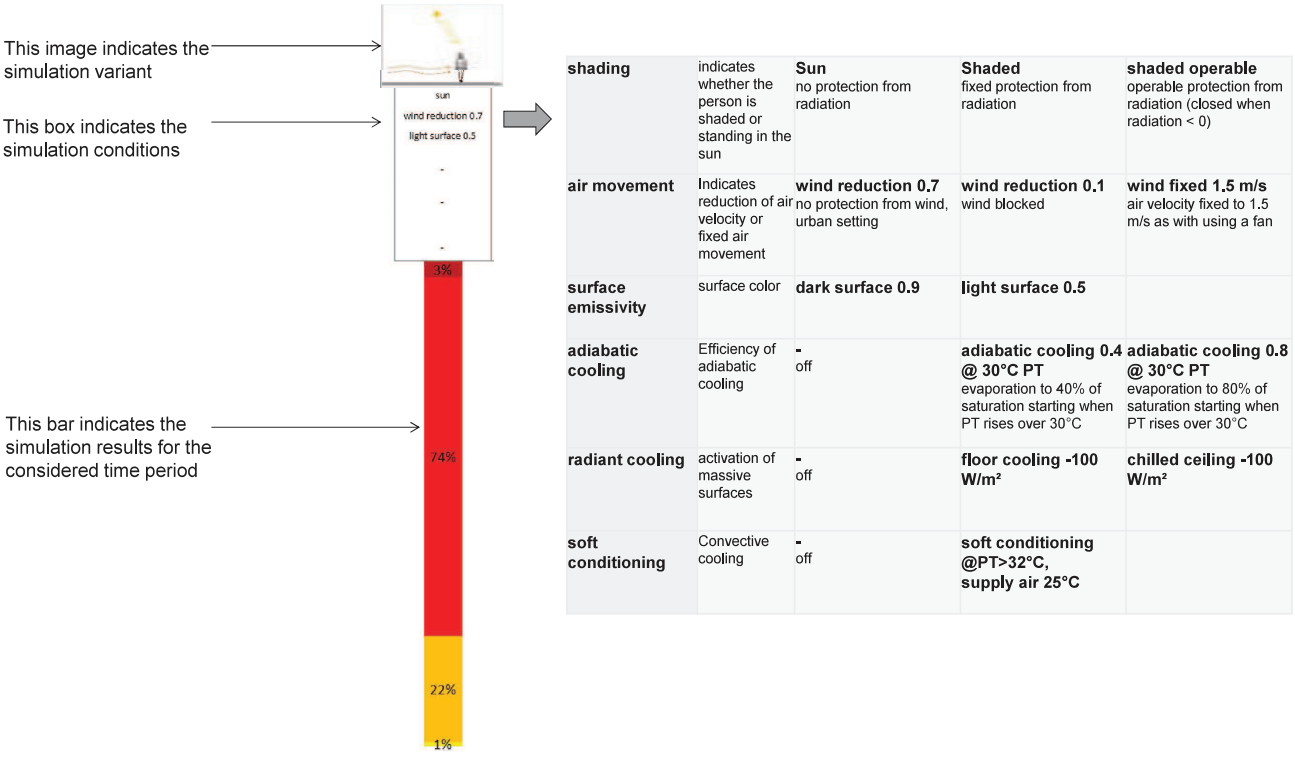



*Figure 2-32 logiciel donnant le valeur de la PT et la perception thermique en fonction des paramètres climatiques*
*Crédit: Transsolar et PolyRythmic Architecture*




| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **shading** | indicates whether the person is shaded or standing in the sun | **Sun** no protection from radiation | **Shaded** fixed protection from radiation | **shaded operable** operable protection from radiation (closed when radiation < 0) |
| **air movement** | Indicates reduction of air velocity or fixed air movement | **wind reduction 0.7** no protection from wind, urban setting | **wind reduction 0.1** wind blocked | **wind fixed 1.5 m/s** air velocity fixed to 1.5 m/s as with using a fan |
| **surface emissivity** | surface color | **dark surface 0.9** | **light surface 0.5** | |
| **adiabatic cooling** | Efficiency of adiabatic cooling | **-** off | **adiabatic cooling 0.4 @ 30°C PT** evaporation to 40% of saturation starting when PT rises over 30°C | **adiabatic cooling 0.8 @ 30°C PT** evaporation to 80% of saturation starting when PT rises over 30°C |
| **radiant cooling** | activation of massive surfaces | **-** off | **floor cooling -100 W/m²** | **chilled ceiling -100 W/m²** |
| **soft conditioning** | Convective cooling | **-** off | **soft conditioning @PT>32°C, supply air 25°C** | |

*Figure 2-33 Correspondance entre les valeurs de la température ressentie (PT) et la perception thermique*
*Crédit: Transsolar et PolyRythmic Architecture*

différentes en fonction des actions architecturales que nous mettons en oeuvre (Figure 2-32). En faisant varier les paramètres de confort sur un même lieu pendant l'heure la plus chaude de la journée et pendant toute l'année, ils proposent une caractérisation du lieu par des pourcentages de confort/inconfort. En faisant varier l'architecture et donc les paramètres de confort extérieur ils montrent la variation du pourcentage d'inconfort annuel (Figure 2-33 et 2-34). A la fin cette méthode permet de caractériser plusieurs zones d'un lieu en fonction du confort ressenti dans l'heure la plus chaude de la journée pendant les 365 jours d'un an (Figure 2-35).



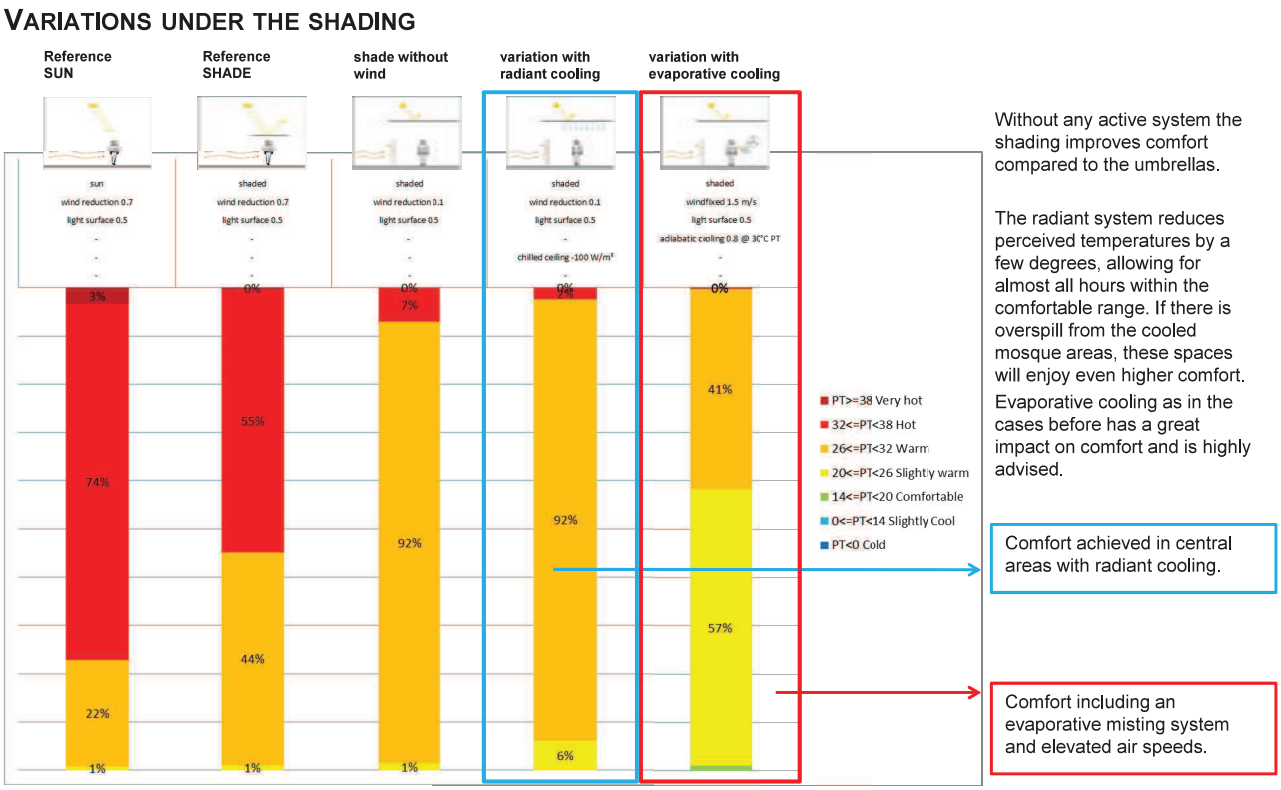



*Figure 2-34 Correspondance entre les valeurs de la température ressentie (PT) et la perception thermique Crédit: Transsolar et PolyRythmic Architecture*

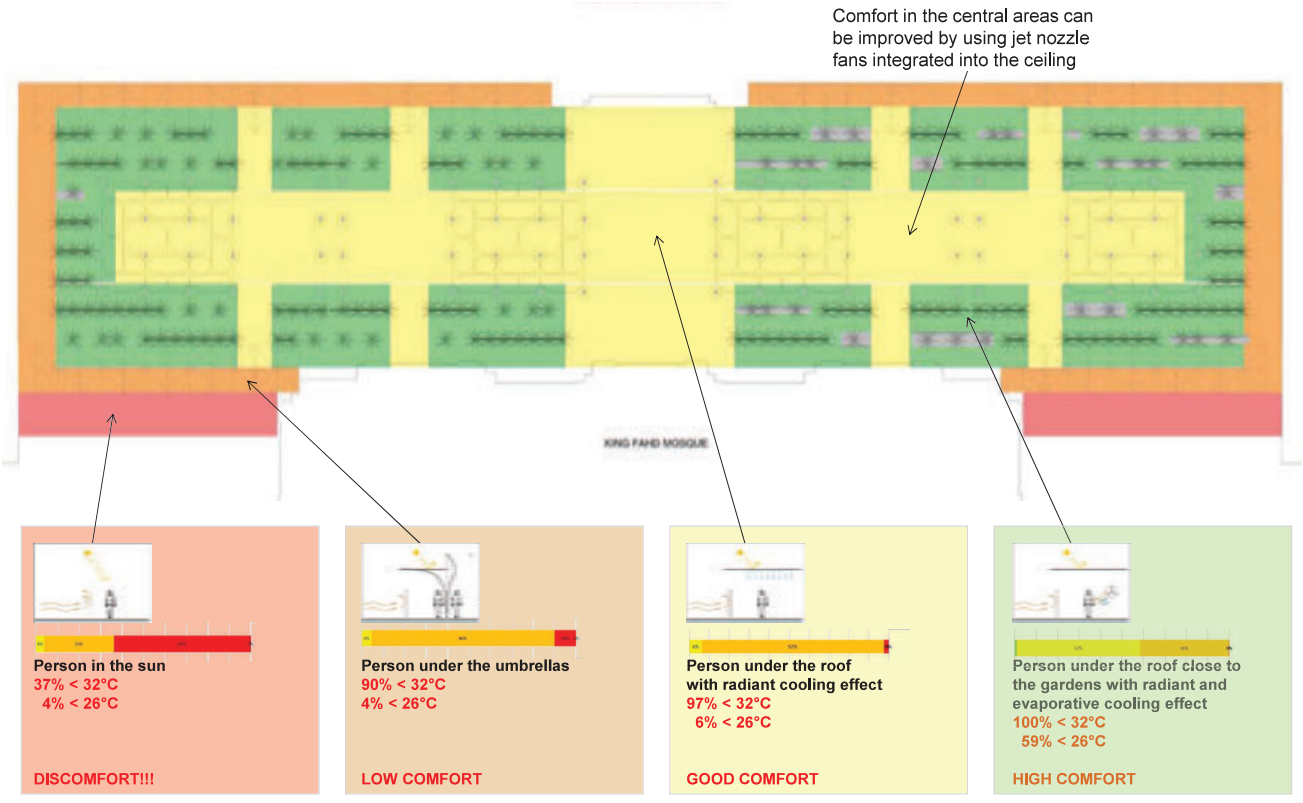



*Figure 2-35 caractérisation de plusieurs zones d'un lieu en fonction du confort ressenti dans l'heure la plus chaude de la journée pendant les 365 jours d'un an. Crédit: Transsolar et PolyRythmic Architecture*

## 2-2-5- Méthode de certification de la Passivhaus Institut pour les différents climats

La Passivhaus Institut, institution allemande indépendante de certification des maisons de très basse consommation, a développé plusieurs certifications : «bâtiment passif» qui représente leur standard depuis 1992, la certification des maisons existantes avec des exigences moins dures «EnerPHit», et la certification de «bâtiment de base consommation» moins stricte que la première. Les critères de certification sont nombreux, et nous avons listé ci-dessous les critères ayant un rapport avec notre étude:

**1- Conditions de confort**

Le seuil de température est de 19ºC - 25ºC. La fréquence de surchauffe a un dépassement de la température moyenne de la pièce de 10% si la maison n'est pas climatisée.

**2- Consommation énergétique**

Pour les climat chauds et très chaud (Figures 2-36 et 2-37), la consommation en climatisation est de 15 kWh/m2an sans limiter l'énergie nécessaire à la déshumidification du bâtiment. Ce qui ne donne pas une valeur de référence claire car nous ne connaissons pas l'énergie nécessaire à l'année pour déshumidifier le volume habité. Ils peuvent aussi utiliser 15 kWh/m2an en chauffage, ce qui fait que des maisons ayant besoin de chauffage et de climatisation peuvent consommer ensemble 30 kWh/m2an. Selon la certification EnerPHit, les maisons dans les zones climatiques plus extrêmes (comme l'Arctique), peuvent consommer jusqu'au 35 kWh/m2an.

**3- Isolation de l'enveloppe**

Dans la certification «bâtiment passif» l'enveloppe a une U=0,15 W/m2K, (équivalent a 230 mm de XPS ou 260 mm de laine de bois).

Dans la certification EnerPHit (Bâtiments existants) la performance de l'enveloppe varie :

-Climats «chauds» : la conductivité peut être de U=0,75 W/m2K (équivalent à 45 mm de XPS) si l'isolation est intérieure et U=0,55 W/m2K (équivalent à 63 mm de XPS) si l'isolation se fait par l'extérieur.

-Climats «très chauds», la conductivité peut être de U=0,45 W/m2K (équivalent à 70 mm de XPS) si l'isolation se fait par l'intérieur contre U=0,25 W/m2K (équivalent à 140 mm de XPS) si l'isolation est extérieure.

Ils sont plus exigeants dans les valeurs de l'isolation par l'extérieur que par l'intérieur. Ceci peut être liée au fait que l'isolation par l'intérieur empiète sur la surface habitable ce qui pourrait décourager les utilisateurs. Une autre raison est que, lorsque l'isolation par l'extérieur est possible (difficile avec des façades historiques), rien ne justifie de ne plus être très exigeant avec la performance de l'enveloppe. La performance des fenêtres est dans tous les cas importante : Uw entre 0,85 W/m2K et 1,40 W/m2K : elles sont le plus permissives dans les climats «tempéré chaud» et «chaud».

**4- Couleur des façades**

Ils préconisent pour les climats «chauds» et «très chauds» l'utilisation des couleurs froides en façade : il s'agit des couleurs clairs qui ont une émissivité forte et un faible coefficient d'absorption dans la partie infrarouge du spectre solaire (rencontre entre les rectangles bleu et jaune de la Figure 1-36).

**5- Renouvellement de l'air**

Pour les climats «chaud» et «très chaud» le système de renouvellement de l'air sanitaire doit avoir un récupérateur de l'humidité avec un rendement minimale de 60% entre l'air sortant et entrant, pour réduire les consommations de déshumidification. Dans la certification «bâtiment de basse consommation» la performance de l'étanchéité à l'air a été revue a la baisse, et ils permettent un seuil supérieur de 1 v/h.

Nous constatons que les zones climatiques les moins exigeants en termes des performances minimales sont le climat «tempéré chaud» et le climat «chaud». Cette méthode n'a pas vocation a être une méthode de conception même si indirectement en devient une. Nous n'avons pas pu trouver, en dehors de la programmation interne de leur logiciel PHPP, les critères de classification de leur zones climatiques (Figure 2-38). Il nous semble que la Passivhaus Institut se sont basé sur la classification ASHRAE, cependant les critères de concordance restent peu compréhensibles (Figure 2-39).

| Zone climatique selon le PHPP | Chauffage | Climatisation |
|---|---|---|
| | Besoins de chaleur max. | Besoin de climatisation max. + besoin de déshumidification |
| | [kWh/ (m²a)] | [kWh/ (m²a)] |
| **Arctique** | 35 | Identique aux exigences d'un bâtiment passif neuf |
| **Froide** | 30 | |
| **Tempérée frais** | 25 | |
| **Tempérée** | 20 | |
| **Tempérée chaud** | 15 | |
| **Chaude** | - | |
| **Très chaude** | - | |

*Figure 2-36 Tableau des critères des besoins en énergie pour la certification EnerPhit Crédit: Passivhaus Institut et association La maison passive France*

| | | | Critères[1] | Critères alternatifs[2] |
|---|---|---|---|---|
| **Chauffage** | | | | |
| Besoins de chauffage | [kWh/ (m²a)] | ≤ | 15 | - |
| Puissance de chauffage[3] | [W/ m² ] | ≤ | - | 10 |
| **Refroidissement** | | | | |
| Refroidissement + besoins de déshumidification | [kWh/ (m²a)] | ≤ | 15+contributions à la déshumidification[4] | Valeurs limites variable[5] |
| Puissance de refroidissement[6] | [W/ m² ] | ≤ | - | 10 |
| **Etanchéité à l'air** | | | | |
| Test d'infiltrométrie $n_{50}$ | [1/ h] | ≤ | 0,6 | |

*Figure 2-37 Tableau des critères de certification Passivhaus d'un bâtiment passif Crédit: Passivhaus Institut et association La maison passive France*

| Zone climatique selon le PHPP | Enveloppe opaque[11] contre… | | | | Fenêtres (avec les portes extérieures) | | | | | Ventilation | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | …le sol | …l'air extérieur | | | Dans l'ensemble[12] | | | Vitrage[13] | Charges solaires[14] | | |
| | Isolation | Isolation par l'extérieur | Isolation par l'intérieur[15] | Peinture extérieure[16] | Coefficient de transfert de chaleur maximum ($U_{w/ D, installé}$) | | | Facteur solaire (facteur g), seulement si un chauffage actif est présent | Charge solaire spécifique maximum pendant la période de refroidissement | Rendement minimal de l'échangeur de chaleur[17] | Rendement minimal de récupération d'humidité[18] |
| | Coefficient de transfert de chaleur maximum (Valeur U) | | | Couleurs froides | | | | | | | |
| | [W/ (m²K)] | | | - | [W/ (m²K)] | | | - | [kWh/ (m²a)] | % | |
| | | | | | Sur mur | Sur toit pentu | Sur toit horizontal | | | | |
| **Arctique** | Déterminé dans le PHPP à partir des degrés heures de chauffage et de refroidissement | 0.09 | 0.25 | - | 0.85 | 0.5 | 0.60 | $U_g$-g*0.7 ≤ 0 | 100 | 80% | - |
| **Froid** | | 0.12 | 0.30 | - | 0.85 | 0.7 | 0.80 | $U_g$-g*1.0 ≤ 0 | | 80% | - |
| **Climat tempéré frais** | | 0.15 | 0.35 | - | 0.85 | 1 | 1.10 | $U_g$-g*1.6 ≤ 0 | | 75% | - |
| **Climat tempéré** | | 0.30 | 0.50 | - | 1.05 | 1.10 | 1.20 | $U_g$-g*2.8 ≤ -1 | | 75% | - |
| **Climat tempéré chaud** | | 0.50 | 0.75 | - | 1.25 | 1.30 | 1.40 | - | | - | - |
| **Climat chaud** | | 0.50 | 0.75 | Oui | 1.25 | 1.30 | 1.40 | - | | - | 60% - (climat humide) |
| **Climat très chaud** | | 0.25 | 0.45 | Oui | 1.05 | 1.10 | 1.20 | - | | - | 60% (climat humide) |

*Figure 2-38 Tableau des critères des composants du bâtiment pour la certification EnerPhit Crédit: Passivhaus Institut et association La maison passive France*

| | | | Critères[22] | Critères alternatifs[23] |
|---|---|---|---|---|
| **Chauffage** | | | | |
| Besoins de chauffage | [kWh/(m²a)] | ≤ | 30 | |
| **Refroidissement** | | | | |
| Refroidissement + besoins de déshumidification | [kWh/(m²a)] | ≤ | Exigences bâtiment passif[24] + 15 | |
| **Etanchéité à l'air** | | | | |
| Test d'infiltrométrie $n_{50}$ | [1/h] | ≤ | 1,0 | |
| **Demande en énergie primaire renouvelable (Ep-R)[25,26]** | | | | |
| Demande en Ep-R | [kWh/(m²a)] | ≤ | 75 | ±15 kWh/(m²a) de variation… |
| Production d'énergie renouvelable (par rapport à l'emprise au sol du bâtiment) | [kWh/(m²a)] | ≥ | - | …en fonction des capacités de production d'Ep-R |

*Figure 2-39 Tableau des critères de certification Passivhaus d'un bâtiment de basse consommation (non consideré comme «passif») Crédit: Passivhaus Institut et association La maison passive France*

# 3 LA METHODE DES SAISONS CLIMATIQUES

Nous présentons dans le présent chapitre le coeur de notre étude : une nouvelle méthode pour l'aider à la prise de décision des jeunes concepteurs de logements de basse consommation. Cette nouvelle méthode est inspirée des approches des concepteurs experts en climat chaud, ressortissant les mesures ou actions les plus remarquables à mettre en place dans un logement. La méthode est basée sur le principe simple de classifier un climat en fonction de nos envies de fermer ou pas la maison à l'extérieur si il ne fait pas confortable dehors et organisant notre stratégie bioclimatique de conception en conséquence.

Plusieurs nouveaux concepts sont proposés dans ce chapitre: les saisons climatiques, l'année climatique, et le stress thermique. Ils utilisent tous les trois le concept de degrés-jour de chauffage ou de refroidissement comme base quantitative.

## 3-1- Synthèse de la maison présentée comme «idéale» en climat chaud selon les profils des concepteurs

Après nos visites au Moyen Orient et la lecture des propositions, stratégies, idées et approches des auteurs considérés comme experts du climat chaud, il nous a paru intéressant de représenter la maison idéale pensée par chaque collectif, architectes vernaculaires, architectes-ingénieurs scientifiques, architectes-ingénieurs européens et les techniciens de culture anglo-saxonne, pour un climat très chaud.

**Maisons 0 à 2 : Maison passive vernaculaire des architectes**

Après lecture et sensibilisation des textes de Fathy, Izard, Ravereau, Mahoney, et Alexandrof, et le constat par la recherche et les visites de la grande diversité de typologies d'habitats vernaculaires en climat chaud, il est difficile de synthétiser schématiquement toute la richesse architectural des constructions vernaculaires. Cependant et pour faire l'exercice de ressortir les caractéristiques les plus remarquables nous proposons trois schémas : La maison méditerranéenne (Maison 0) avec un toit terrasse et une cour intérieure à l'air libre, la maison de l'ancienne région de Perse (Maison 1) dont ses tours à vent existent aussi dans la péninsule Arabique, et finalement celui des maisons plus récentes au Moyen Orient (Maison 2) où la vie se fait à l'intérieur à l'aide des ventilateurs ou sur les toits protégés par du canisse ou de la toile.

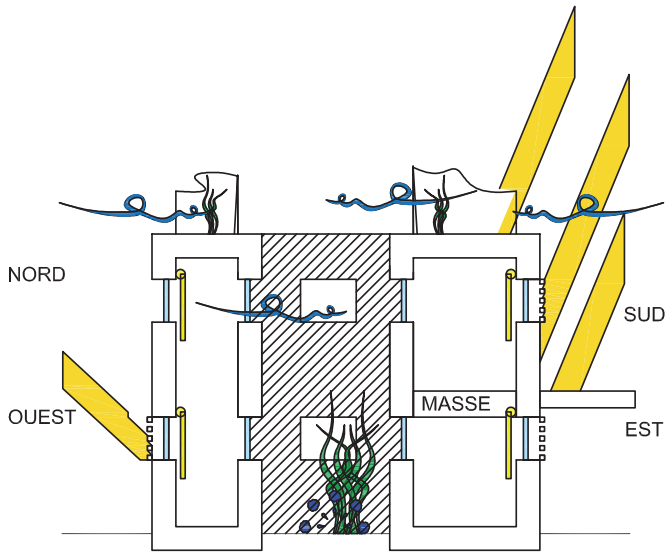
Les points communs de ces maisons sont : la protection solaire, l'inertie thermique et la ventilation transversale. Dans un climat très chaud, et si les moyens du commanditaire le permettent, elle proposera aussi une isolation sur les murs, avec éventuellement un deuxième revêtement minérale sur l'isolation avec une vide d'air ventilé entre les deux. Les ouvertures sont petites et elles ont toutes des protections solaires importantes du type brises-soleil ou moucharabieh sauf au nord. L'étanchéité à l'air est négligeable voir dangereuse par le manque de renouvellement de l'air autre que par les fuites et ouvertures. Elle a souvent une partie jour/nuit et été/hiver.

**Maisons 3 à 9 : Maison passive technologique des architectes et ingénieurs chercheurs**

Il est impossible d'intégrer dans une seule maison toutes les propositions que des chercheurs comme B. Givoni décrivent dans leurs ouvrages, mais nous pouvons organiser ces propositions avec différentes combinaisons qui, d'un point de vue architecturale, nous semblent réalistes. Ces maisons mélangent des mécanismes mobiles, des systèmes radiatifs et des systèmes adiabatiques. Nous allons intégrer les propositions les plus importantes dans sept modèles de maisons différents en fonction des dispositifs proposés en toiture :

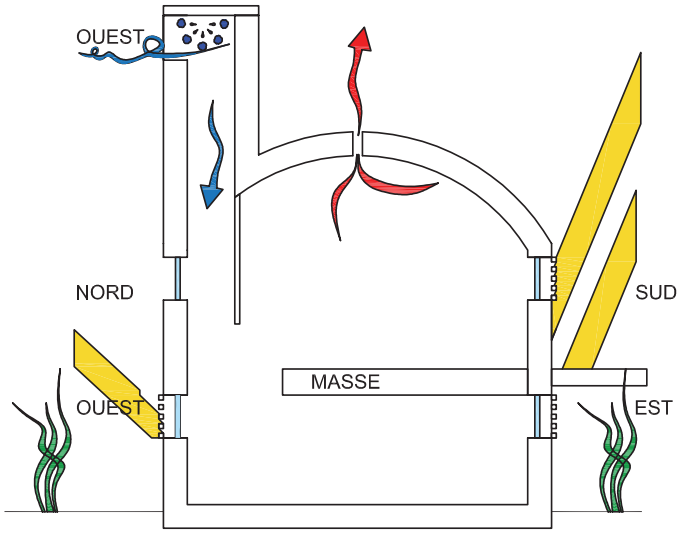
-La maison 3 : la toiture isolée dépliable
-La maison 4 : la toiture radiative à air
-La maison 5 : la toiture végétalisée
-La maison 6 : la toiture avec protection solaire totale
-La maison 7 : la toiture légère avec isolation pivotante
-La maison 8 : la toiture avec tour à douche adiabatique directe
-La maison 9 : la toiture avec tour à douche adiabatique indirecte

Ces maisons ont toutes à l'intérieur une modeste isolation thermique, de la protection solaire, des ventilateurs et des distributions favorisant la ventilation transversale



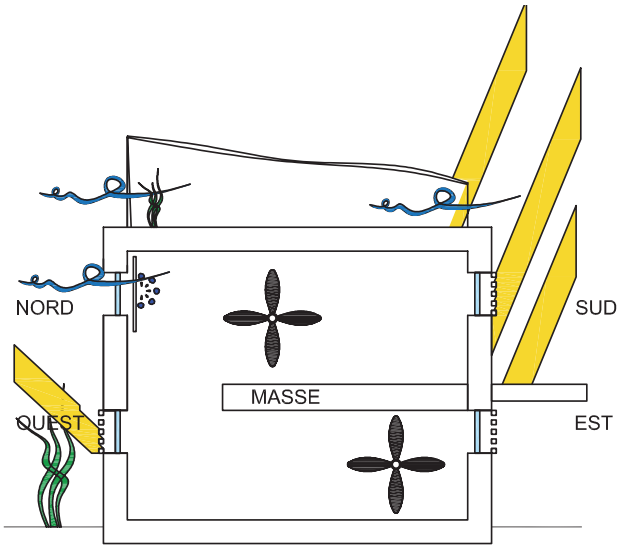

*Maison 0 - Vernaculaire mediterranéene*

*Elle utilise toutes les actions traditionnelles en climat méditerranéen chaud et moyen orient très chaud. Massique avec une protection solaire principalement par retournement des ouvertures extérieures vers la cours intérieure, fraîche et naturellement ombragée. La ventilation transversale permet à l'air frais de la cour refroidir les espaces intérieurs. Les espaces extérieurs permettent de faire un nomadisme journalier entre l'intérieur protégé et l'extérieur frais le matin et la nuit.*



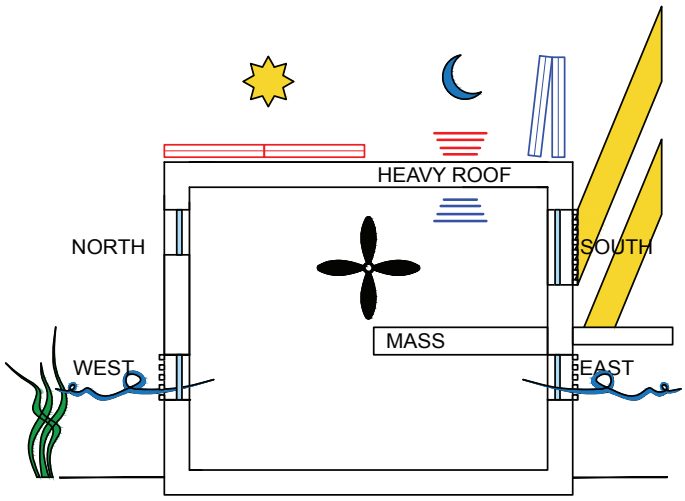

*Maison 1 - Vernaculaire perse*

*Elle utilise toutes les actions traditionnelles. Massique avec une protection solaire par moucharabieh dans toutes les fenêtres sauf le N, . Les espaces extérieurs sont ombragés pour être utilisés lorsque les températures extérieures le permettent. Une tour à vent avec refroidissement adiabatique cherche l'air en hauteur dans un contexte urbain. La végétalisation, si possible pour le climat local, est proposée dans les espaces extérieurs. La maison n'a pas de climatisation mais des ventilateurs plafonniers ou muraux. La toiture courbe permet de évacuer la chaleur par des dispositifs d'extraction en partie haute loin des usagers.*

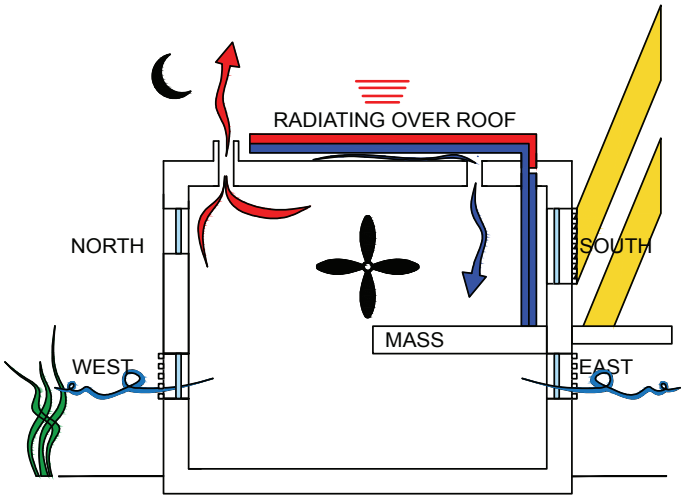



*Maison 2 - Vernaculaire récente*

*Plus simple que les maisons traditionnelles, elle est construite par un système de poteaux et poutres et remplissage en maçonnerie avec une toiture plate. Elle n'est pas à peine isolée, elle protège par son architecture les espaces où le soleil gène l'usage: fenêtres, toit et extérieur. Elle se protège de la vue par des moucharabieh. La maison est climatisée soit par des équipements adiabatiques directs ou soit par climatisation par compresseur électrique. Elle peut avoir des ventilateurs qui apportent un confort supplémentaire.*

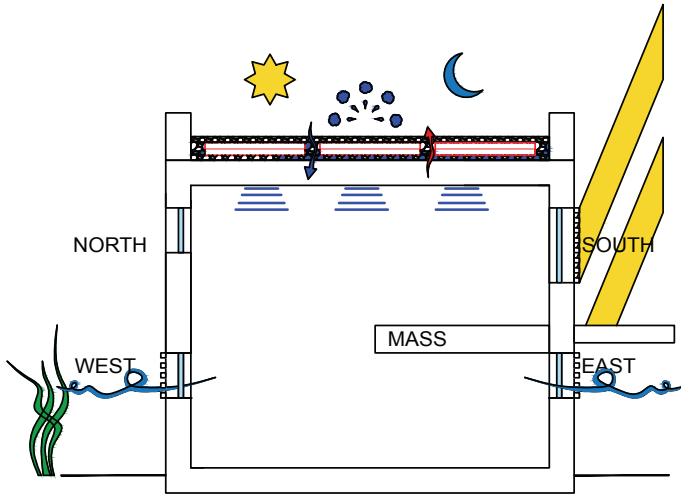



*Maison 3 - Toiture isolée dépliable proposée par les architectes-chercheurs*
*Elle est très massique. Le jour la maison est isolée et protégée des rayonnements solaires avec un ventilateur pour augmenter la plage de confort. Le soir lorsque le soleil disparaît, elle déplie la toiture et commence à rayonner toute la chaleur emmagasinée dans le toit vers la voûte. La ventilation transversale nocturne aide au processus de décharge. A l'aube, la structure du toit de la maison est frais et prêt à absorber la chaleur intérieure par rayonnement. Le toit est remis en place et la maison est à nouveau isolée et fraîche.*



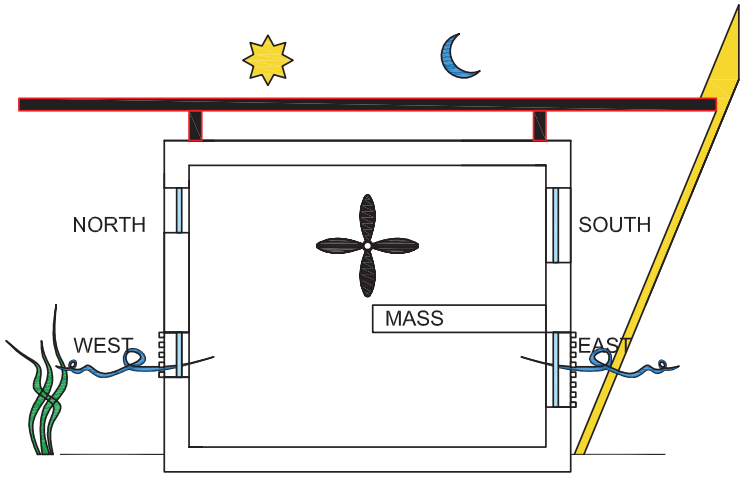

*Maison 4 -Toiture radiative à air proposée par les architectes-chercheurs*

*Plus robuste, elle a une toiture froide ventilée par une simple couche de tôle en acier radiante, une lame d'air et puis la vrai toiture en maçonnerie massique et isolée par l'extérieur. La nuit, toiture en tôle commence à rayonner vers la voûte et la lame d'air se refroidit rapidement. Par une entrée qui ouvre seulement le soir et à l'aide d'un simple extracteur électrique ou par gravité l'air froid est récupéré vers l'intérieur de la pièce, tandis que l'air chaud est extrait par une autre sortie pour faciliter la circulation des deux courants d'air.*



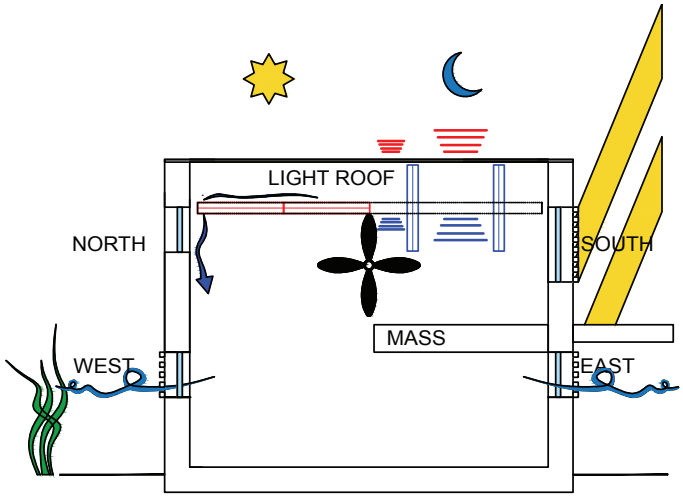

*Maison 5 -Toiture végétalisée proposée par les architectes-chercheurs*

*Encore plus robuste, cette maison a une toiture végétalisée et isolée avec une lame d'eau fraîche qui est sous l'isolation et qui rafraîchit en permanence la toiture en maçonnerie qui rayonne cette fraîcheur dans la maison. L'eau est pompée en surface pour continuer à se rafraîchir le soir par radiation et le jour par évaporation. Une fois fraîche elle descend par gravité sous l'isolation à travers des petites interruptions dans l'isolant pour faciliter ce passage. Elle comporte aussi les autres dispositifs passifs habituels, protection solaire et ventilation naturelle.*



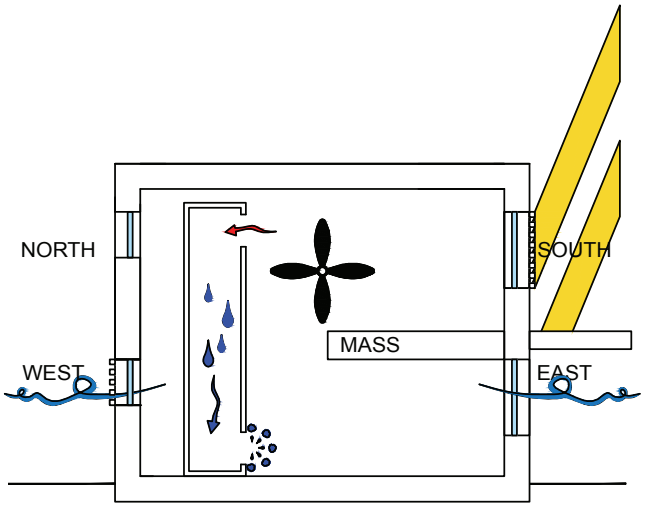

*Maison 6 - Protection solaire totale proposée par les architectes-chercheurs*

*Avec une toiture suffisamment débordante avec des brises-soleil pour le soleil rasant au E et O, elle peut se protéger complètement des apports solaires. Elle utilise aussi la ventilation naturelle, un complément de ventilation par ventilateurs et de la végétation périphérique pour rafraîchir l'air rentrant. La masse thermique permet de décharger thermiquement le soir et garder la masse fraîche le jour.*



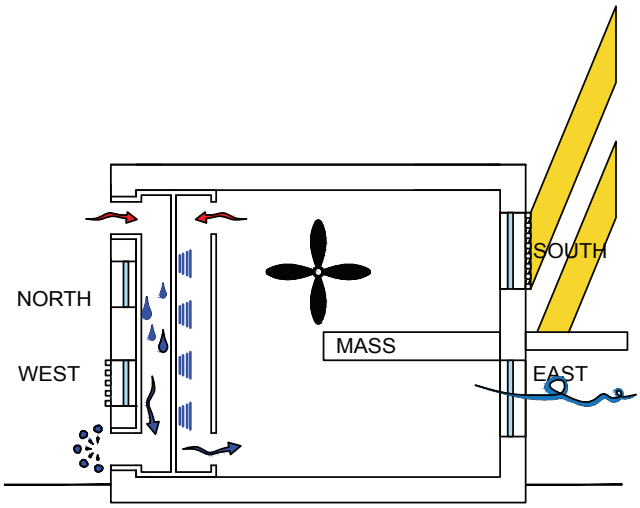

*Maison 7 - Toiture légère et isolation pivotante proposée par les architectes-chercheurs*

*Elle est la seule maison avec une toiture légère non maçonnée. Travaillant avec le même principe que la maison 4 elle a une isolation pivotante qui permet mettre en contact radiatif la toiture et l'intérieur de la maison. Elle peut aussi récupérer l'air frais sous la toiture et le faire rentrer à l'intérieur. La ventilation naturelle et les ventilateurs sont aussi présents pour une augmentation de la plage de confort combinés à une masse thermique qui permet une décharge nocturne et un déphasage de l'arrivée de l'onde de chaleur.*



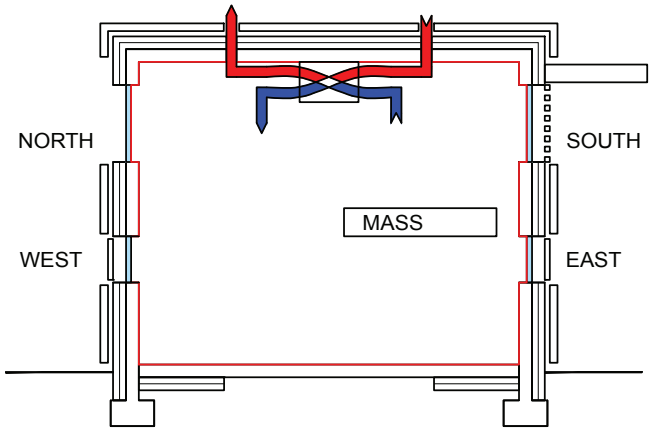

*Maison 8 - Tour à douche rafraîchissante proposée par les architectes-chercheurs*

*Ce système de rafraîchissement adiabatique direct brasse l'air intérieur en le faisant passer en permanence sous une douche d'eau. L'air sortant est saturée à 100%HR et frais. Le système est complété par des protections et des courants d'air naturels qui devraient pouvoir évacuer les excès d'humidité provoqués par la douche.*



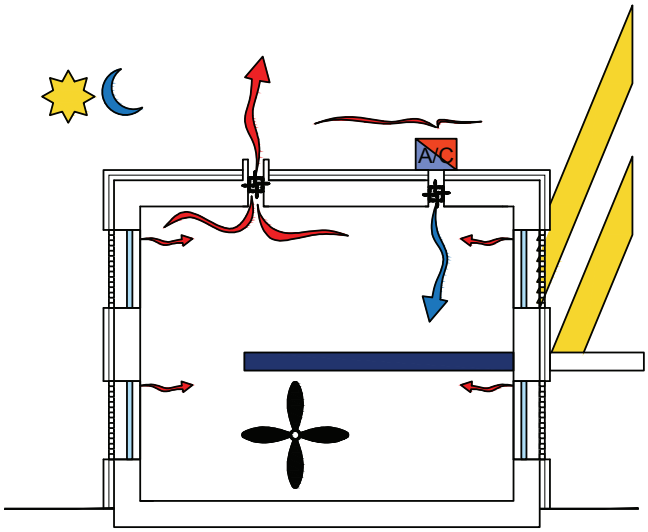

*Maison 9 - Tour à eau adiabatique indirecte proposée par les architectes-chercheurs*

*L'humidification de l'air se passe dans une zone non connectée aéroliquement à l'intérieur de la maison. Le conduit de la tour-douche est très conducteur et transmet la température fraîche des conduits à l'intérieur de la maison par radiation. L'humidité est évacuée dehors. Le système est complété par des protections solaires et des courants d'air naturelles*




*Maison 10- Maison passive du climat chaud proposée par des ingénieurs thermiciens et architectes initiés a la construction de maisons passives européennes.*

*Double flux, super-isolation de l'enveloppe, étanchéité à l'air renforcée, masse thermique intérieure, ventilation mécanique à double flux avec échangeur thermique ,triple vitrage, protection solaire extérieure des ouvertures, électroménagers de basse consommation.*




*Maison 11- «the english hot standard» proposée par ingénieurs de culture anglo-saxonne.*

*Isolation, protection solaire et bon dimensionnement des équipements refroidissants, évacuation par VMC simple flux dans les pièces humides de la maison.*

**Maison 10 : Maison Passive européenne pour le climat chaud**

Les principes que propose la «Passivhaus» pour un climat chaud comme celui de la péninsule arabique, restent toujours très similaires a ce qu'ils proposent pour un climat tempéré à froid : protection solaire renforcée en fonction des saisons et des orientations, pourcentage total des ouvertures en fonction de la distribution N/S/E/O et d'une taille telle que les apports énergétiques soient maîtrisés. Enveloppe à isolation renforcée avec une faible influence de l'inertie de la maison, même si elle rentre en compte dans le calcul de la constante de temps par le nombre de murs lourds à l'intérieur. Suppression des ponts thermiques chauds, étanchéité à l'air renforcée couplée avec une centrale de renouvellement d'air en double flux avec échangeur thermique et utilisation de la climatisation active à très haut rendement, donc avec une consommation maîtrisée.

**Maison 11 : Maison active standard des ingénieurs anglo-saxons pour le climat chaud**

Le corps anglais des ingénieurs, CIBSE, est particulièrement impliqué dans la conception et la mise en norme des constructions au Moyen Orient. A cause de l'essor de la construction au Moyen Orient, le corps d'ingénieurs et concepteurs étrangers, à majorité anglo-saxonne, a du mettre en place une approche pragmatique et financiere. Ils proposent une maison de qualité moyenne avec toute une série d'équipements techniques actifs bien maîtrisés. Elle sera donc construite en bloc béton avec des planchers en béton armé qui amèneront l'inertie nécessaire au déphasage horaire. L'isolation sera par l'intérieur et les ponts thermiques non traités pour un soucis financier. Le traitement de l'air sera couplé à une pompe à chaleur air-eau, placée sûrement sur le toit de la maison, et qui refroidira et déshumidifiera l'air au fur et à mesure qu'il rentre.

## 3-2- Actions architecturales pour climat très chaud : récapitulatif et classification en axes stratégiques

A partir de ce point de l'etude, nous allons travailler avec un concept simple de choix architectural : les actions architecturales. Pour nos analyses nous allons nous appuyer beaucoup sur ce concept. Ainsi, nous appellerons «Action Architecturale» à «toute mesure de conception qui peut intégrer le projet d'un logement et qui aura une incidence sur sa consommation énergétique». Ces actions architecturales sont par exemple l'installation de brises-soleil, la protection des parties opaques de l'enveloppe ou l'intégration d'une isolation par l'extérieur.

Après la lecture de l'état de l'art des auteurs du chapitre 2, nous avons récapitulé toutes les propositions pour obtenir une série d'actions architecturales qui reviennent très fréquemment pour certaines et moins pour d'autres. Cette liste est longue : réduction de la surface de vitrage, orientation de préférence N-S, protection solaire par l'extérieur, protection solaire par l'intérieur, super isolation thermique, suppression des ponts thermiques, émissivité des parois, double peau ventilée, haute performance de l'étanchéité à l'air, ventilation à double flux avec échangeur thermique, refroidissement partielle de l'air entrant par des puits souterrains, zonage thermique des zones qui produisent une forte chaleur résiduelle, extraction spécifique dans les zones à forte production de chaleur, ventilation naturelle transversale, tours à vent, création de cheminées thermiques, sur-ventilation nocturne, décharge radiative nocturne, masse thermique intérieure importante, refroidissement adiabatique direct et indirect, récupération nocturne de l'air frais sous plaque rayonnante, cour végétalisées, cour humidifiées, ombrage périphérique, ventilateurs, utilisation de vêtements adéquats, nomadisme intérieur et extérieur... .

Cette liste des actions architecturales que s'ouvrent au choix d'un concepteur est aussi représentée par des logos d'actions pour simplifier son traitement (Figure 3-1a). Elle doit être re-organisée pour éviter le piège qui se présente souvent aux concepteurs : une longue liste de possibilités sans une stratégie globale. Nous regroupons les principales actions proposées par les experts en climat chaud et nous regardons les plus récurrentes (Figure 3-1b) entourant avec un rectangle rouge les actions qui se présentent sur six ou plus des experts. Nous constatons que ces actions sont : réduction des ouvertures, protection par l'extérieur, sur-isolation, ventilation transversale, masse thermique, ventilateurs et habillage des utilisateurs. Ces actions représentent intuitivement une volonté de se protéger de l'extérieur, d'évacuer la chaleur de la maison, de lisser les pics de température et de savoir s'adapter lorsque il fait chaud. Ces axes stratégiques nous suggèrent déjà un principe de classification qui nous semble très logique. Cependant nous n'allons pas nous baser que sur cette analyse pour faire l'organisation stratégique, et nous créons tous les axes qui puissent intégrer l'ensemble des propositions des experts.

# Actions architecturales les plus fréquentes

*Figure 3-1a liste des actions architecturales les plus fréquentes proposées par les experts en climat chaud que s'ouvrent au choix d'un concepteur*

## Actions architecturales fréquentes utilisées par les experts en climat chaud

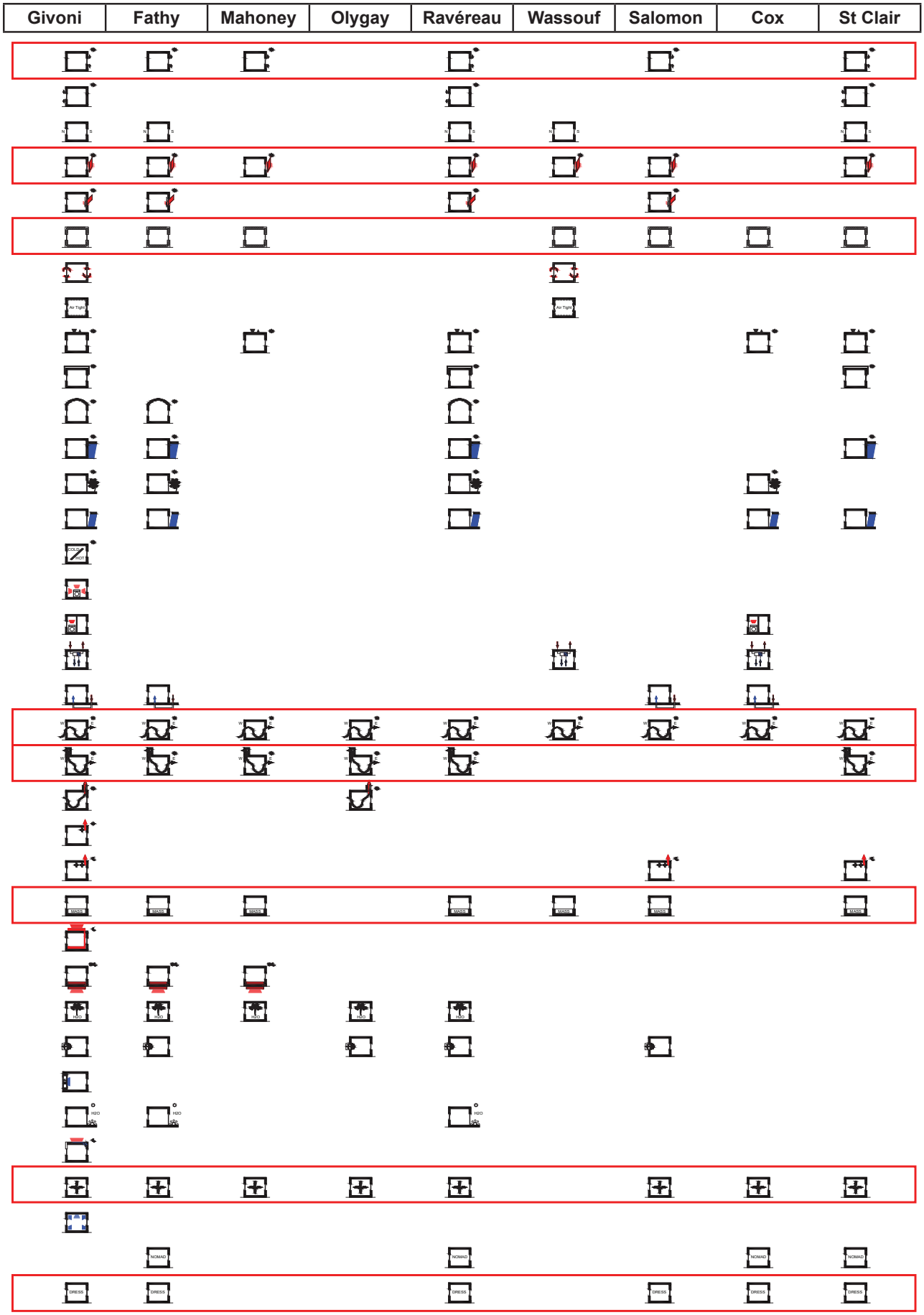



*Figure 3-1b Liste des actions architecturales proposées explicitement par les experts en climat chaud. Entouré en rouge se trouvent les actions qui apparaissent dans la production de six experts ou plus*

## 3-2-1 Classement des actions architecturales dans les axes stratégiques

Après l'élaboration de la liste de toutes les actions architecturales possibles en climat chaud, nous proposons de les classer en six axes qui nous semblent compréhensibles, logiques et mémorisables par un grand nombre de concepteurs (Figure 3-2a). Un axe est décomposé en plusieurs volets et chaque volet contient plusieurs des actions architecturales proposées dans la littérature scientifique et par la pratique de la construction contemporaine. Cette classement profile une stratégie pour le climat chaud avec une différence fondamentale entre celle du climat froid. La stratégie du climat froid, orientation, isolation et limitation des pertes aéroliques avec l'extérieur, montre un approche que nous pourrions définir de «statique», où, une fois que la chaleur est produite, nous voulons la garder à l'intérieur du logement par simple déconnexion avec l'extérieur. Cette stratégie est favorisée par le fait que tous les éléments abrités à l'intérieur de la maison, personnes et

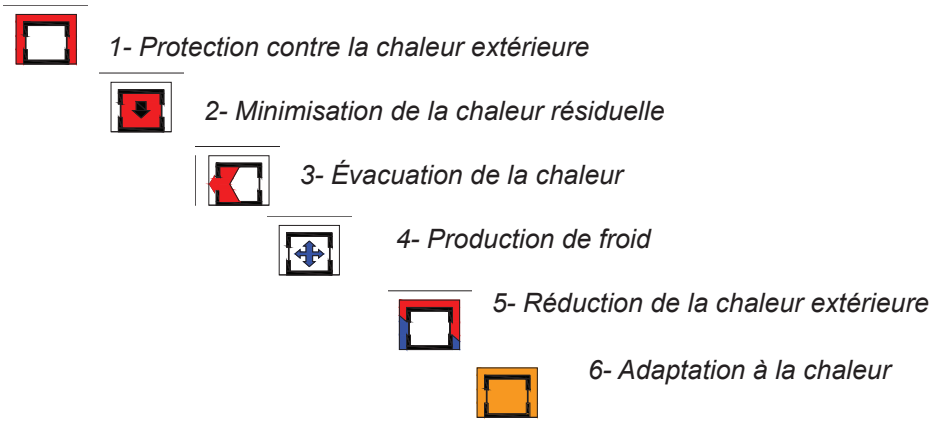



*Figure 3-2a Les six axes stratégiques de conception en climat chaud*

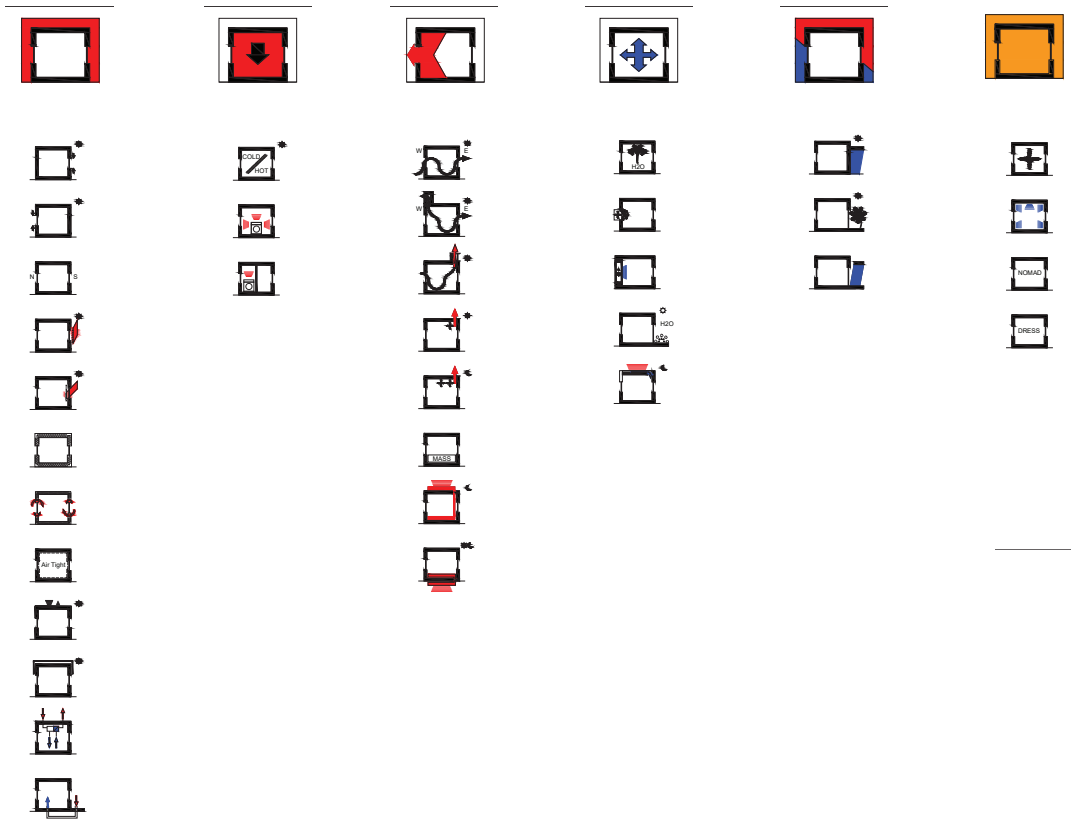


*Figure 3-2b Classification des actions architecturales que s'ouvrent au choix d'un concepteur dans six axes stratégiques*

électroménagers, participent à l'objectif commun de chauffer l'intérieur et donc plus ils sont isolés de l'extérieur mieux c'est. De l'autre côté, les climats chaud ont une stratégie qui pourrait se définir comme dynamique, puisque une fois que la fraîcheur est à l'intérieur de la maison, les éléments qui sont à l'intérieur, ne participent pas à améliorer le confort intérieur, au contraire ; les personnes, les électroménagers, rajoutent davantage de l'énergie dans la maison. Ainsi la stratégie de uniquement s'isoler en climat chaud n'est pas souhaitable. L'esprit de la stratégie du climat chaud relève plus d'une attitude de mouvement perpétuel puisque l'élément défavorable, la chaleur, se développe sans cesse. Nous proposons la classification Axes/Volets/Actions Architecturales comme montré dans la Figure 3-2c.

**Axe 1 : protection contre la chaleur externe**

1- La réduction de chaleur qui arrive par les ouvertures vitrées du logement
- Réduction de la surface de vitrage exposée au soleil.
- Réduction de la surface de vitrage non exposée au soleil.
- Orientation de préférence n-s.
- Protection solaire par l'extérieur.
- Protection solaire par l'intérieur.

2- La réduction de chaleur qui arrive par les parties opaques
- Super isolation thermique.
- Suppression des ponts thermiques.
- Émissivité des parois
- Double peau ventilée.

3- La réduction de la chaleur qui rentre dans la maison par la ventilation
- Haute performance de l'étanchéité à l'air.
- Échangeur thermique double flux.
- Refroidissement partielle de l'air entrant par des puits souterrains

**Axe 2 : réduction de la chaleur interne**

1- Nature, position et gestion des électroménagers puissants dans la cuisine
- Zonage thermique des zones qui produisent une forte chaleur résiduelle.
- Extraction spécifique dans les zones à forte production de chaleur.

2- Nature et position des électroménagers faibles du parc informatique et d'éclairage
- Nature des électroménagers.

**Axe 3 : évacuation de la chaleur interne**

1- Évacuation convective par l'air
- Création des courants de ventilation naturelle transversale.
- Création de cheminées à vent.
- Création de cheminées thermiques.
- Sur-ventilation nocturne

2- Évacuation radiative nocturne par les façades et le toit
- Dispositif amovible pour décharge radiative nocturne de la masse de la toiture.

3- Évacuation conductrice vers la masse thermique du bâtiment
- Masse thermique intérieure importante.
- Surpression de l'isolation pour évacuation de la chaleur vers le sol

**Axe 4 : production de froid passif**

1- Le refroidissement adiabatique
- Sources d'eau en mouvement à l'intérieur.
- Refroidissement adiabatique direct.
- Refroidissement adiabatique indirect

2- Le refroidissement par radiation
- Rayonnement nocturne par suppression de l'isolation entre toiture et habitat.
- Récupération nocturne de l'air frais sous plaque rayonnante

**Axe 5 : réduction de la chaleur extérieure**

1- Refroidissement périphérique de la température radiative et de l'air

Cours végétalisées
- Cours humidifiées
- Ombrage périphérique

**Axe 6 : adaptation a la chaleur**

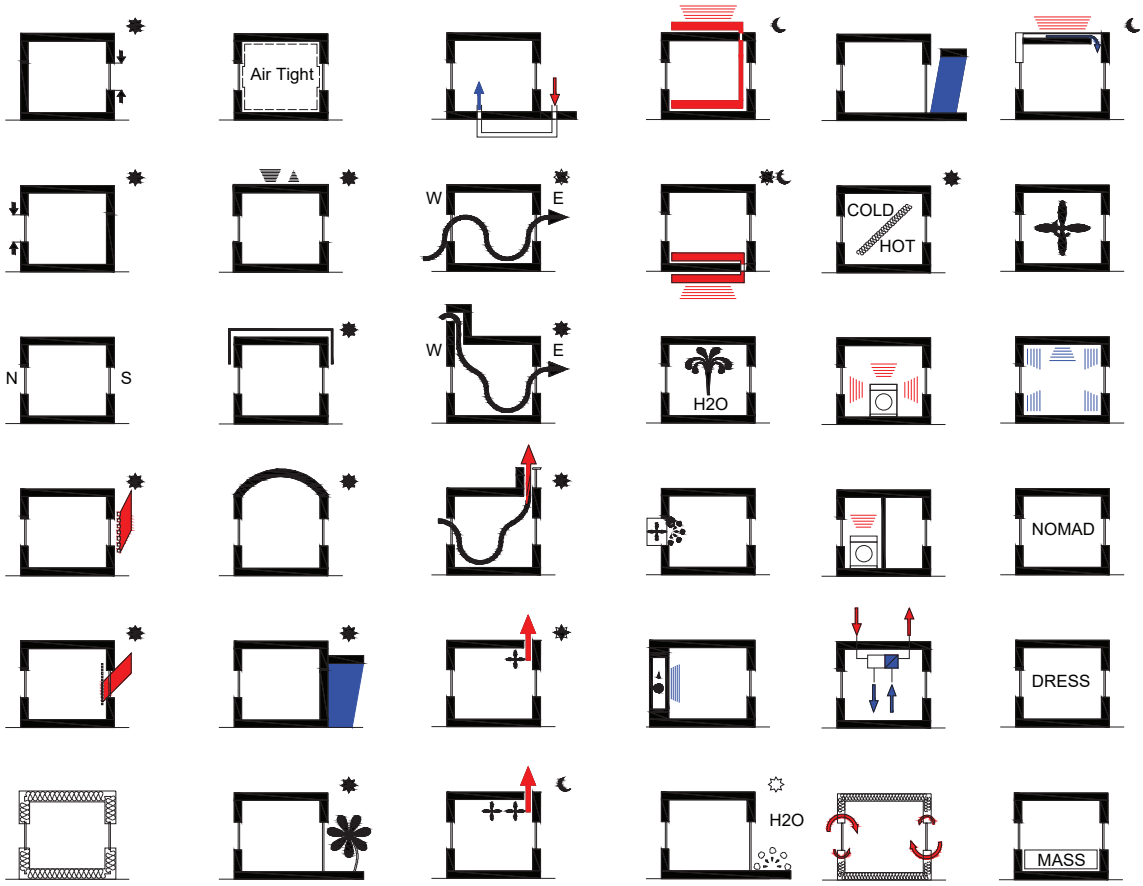
1- Faciliter les mécanismes naturels de régulation du corps humain
- Ventilation mécanique non climatisée avec des ventilateurs
- Utilisation de vêtements adéquats aux conditions climatiques.

2- Usage stratégique des espaces
- Nomadisme intérieur et extérieur.

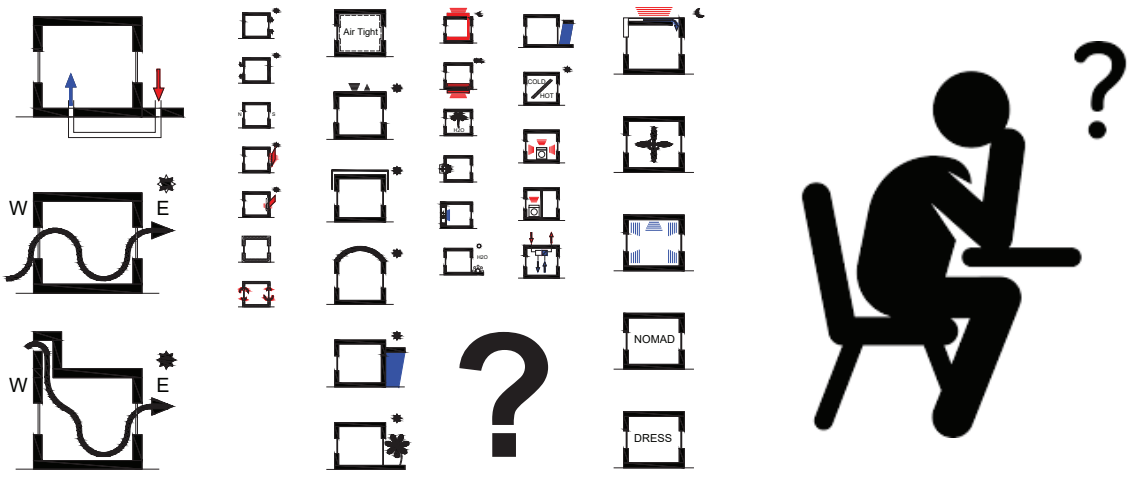
*Figure 3-2c Organisation des actions architecturales en six axes stratégiques et des volets thématiques par axe*

## 3-2-2 Conclusions

Suite à cette liste de toutes les actions architecturales, nous pourrions proposer aux acteurs de la conception du projet de choisir parmi toutes les possibilités données par ces actions, que nous présenterions de façon très ordonnée et nous lui dirions de faire le choix du bouquet d'actions pour son projet, plutot orientation, ou performance de l'enveloppe, inertie thermique couplee avec de la ventilation transversale ... :




Cependant, un architecte non initié à la basse consommation n'aurait pas la même lecture que nous, et notre tableau d'actions architecturales possibles, sera lu par l'architecte comme un combinaisons non maîtrisée de choix, et il ne saurait pas quoi choisir. Sa lecture de la grille serait plutôt celle-ci :



Nous avons besoin d'une méthode qui puisse orienter le choix des actions architecturales fait par les concepteurs d'un projet avec des critères robustes et accessibles a tous, en fonction du site, climat, emplacement , contexte urbain et habitudes des utilisateurs qui seront finalement les derniers responsables du fonctionnement du logement.

La liste de ces actions n'est pas exhaustive et nous ne prétendons pas limiter les actions des concepteurs à une série d'actions déjà testées dans le passé, Des nouvelles actions peuvent et devront être incluses dans cette liste et la faire évoluer au fil du temps. Des actions comme l'intégration des systèmes biologiques dans la structure de la maison, murs végétaux, refroidissement ou chauffage par l'activité animale dans la maison, murs-ruches ou murs d'algues confinées dans des menuiseries vitrées...etc., seront de plus en plus développées dans les années à venir et par leur retour d'expérience nous pourrons les inclure dans les actions architecturales à proposer aux commanditaires des projets.

Puisque la question de la méthode reste entière, nous allons proposer dans les chapitres suivants des outils qui permettront apporter aux concepteurs des critères de choix en fonction des données climatiques et de la culture d'usage du logement des futurs utilisateurs.

## 3-3- Présentation générale de la méthode des saisons climatiques



Suite à identification et classification des actions architecturales que un concepteur peut mettre en place en climat chaud et plus particulièrement au Moyen Orient, nous souhaitons, comme était l'objectif initiale de cette étude, proposer une méthode simple et intuitive pour que les concepteurs puissent prendre conscience des vrais enjeux bioclimatiques du site du projet et orienter le projet vers des stratégies intelligentes tout en ayant la plus grande liberté de conception. Ce qui suit est alors une proposition intentionnellement simple qui peut être comprise et utilisée par tout concepteur. Plus elle sera intuitive, robuste, accessible et facile à comprendre, plus les concepteurs arriveront à la mettre en pratique. Il est donc une méthode «low-tech» avec une approche d'ouverture et flexibilité affichée car il nous semble qu'aujourd'hui il est important d'agir dans tous les fronts pour arriver à un équilibre durable avec notre environnement. Comme disait Pol Ole Fanger dans un interview au congrès annuel de l'ASHRAE à St. Diego : il y a un grand, trop grand, nombre de concepteurs architectes et ingénieurs qui ne maîtrisent pas la base la plus élémentaire pour bâtir une stratégie de conception de basse consommation. Les raisons pour ceci sont nombreuses : manque de formation spécifique, manque de demande des commanditaires, manque des outils informatiques souvent hors de prix par rapport aux budgets des petites agences... . Le résultat de tout cela est qu'en ce même moment des milliers de projets se construisent par tout dans les régions au climat chaud sans une approche responsable produisant un parc immobilier très énergivore qui continue à croître. Certains peuvent donc trouver la démarche de cette étude trop simple, voir simpliste. Cependant, après tous les rencontres, entretiens et échanges réalisés pour cette étude, nous sommes persuadés qu'il faut simplifier les approches pour mieux faire comprendre. Un fameux entrepreneur français dans les années 60 disait a ses collaborateurs de ne jamais faire ce qu'ils ne comprenaient pas, et ceci est le cas des réactions naturelles des nombreux concepteurs face à des outils qui par leur complexité créent le méfie qui finalement n'osent pas utiliser.

Pour pouvoir mettre en place cette méthode par le plus grand nombre, les outils nécessaires, accessibles facilement, sont les suivants :

1. Accès à Internet - une seule fois suffit
2. Logiciel feuille de calcul type Excel ou similaire, y compris des versions gratuites.
3. La présente étude

La base de la démarche est de comprendre, qualifier et de quantifier le future rapport que les utilisateurs auront avec le projet de leur futur logement. Cette qualification se fait de façon extrêmement simple par une réflexion qui donne un usage radicalement différent d'un logement : nous l'ouvrons à l'extérieur car c'est confortable dehors ou nous le fermons pour nous protéger à l'intérieur car dehors est inconfortable. En somme : il fait trop chaud ou trop froid.

La méthode se structure à partir des phases suivantes:

**1- Connaissance du contexte social du site : paramètres de confort acceptables**

Cette approche initiale est primordiale pour établir les valeurs socialement acceptables des seuils de température minimale et maximale. Ces choix seront fait en fonction des cultures, des classes sociales, de l'humidité relative ambiante moyenne, de l'engagement environnemental des propriétaires... . En tout cas, il faut que les températures considérées acceptables soient au plus près du comportement des futures utilisateurs.

**2- Profile climatique du site : journée type, saisons climatiques et l'année climatique**

Cette connaissance se fait par l'utilisation de la valeur des degrés-jour du site du projet. Cette valeur est répertoriée dans beaucoup de sources différentes et aussi sur des divers sites Internet. Nous utiliserons un site Internet de préférence car ils furent uns des pionniers à mettre cette information disponible et facilement accessible pour tout le monde. Le site est américain : www.degreedays.net. Avec les informations fournis par ce site nous sommes en mesure de connaître les degrés-jour de chauffage ou de refroidissement de n'importe quel seuil de température, et ceci avec des données correspondant à la moyenne des deux ou des cinq dernières années. Nous avons choisi la moyenne des deux dernières années pour être au plus proche des évolutions (dérèglement climatique) du climat des villes, mais les concepteurs pourront choisir les valeurs qui leur semblent les plus fiables et représentatives pour l'emplacement de leur projet. Pour certains climats où l'humidité relative est un vrai enjeu de confort, la connaissance de toute une année par tranche horaire Température/Humidité Relative serait nécessaire. Avec ces données nous allons reconstituer l'année climatique du site en fonction de l'action «je ferme / je ouvre la maison» et le caractériser selon six typologies de journée type et des saisons climatiques, de S1 à S6. Cette caractérisation se fera en utilisant les valeurs des degrés-jours de chauffage et de refroidissement des températures du seuil de confort choisit précédemment.

**4- Profil climatique pondéré avec les degrés-jour (DJ) pour quantifier les saisons climatiques**

Puisque il existent des journées plus consommatrices que d'autres, nous devons pondérer les journées type avec un poids qui donne l'importance à celles qui consomment plus : c'est avec les valeurs des DJ cherchés récemment nous seront en mesure de pondérer ces situations climatiques pour connaître après la vraie influence annuelle de chaque saison climatique et où sont les enjeux de consommation.

**5- Stratégies climatiques en fonction de la saison thermique : les groupes d'actions**

Une fois que nous connaissons les saisons climatiques avec la plus grand influence sur le futur projet, nous devons choisir les actions architecturales les plus efficaces et intéressantes en cohérence avec les saisons climatiques prépondérantes. C'est au concepteur de constituer la combinaison la plus intéressante pour le projet selon des critères de qualité architecturale, confort, et temps de retour des investissements. Dans les pages suivantes les actions les plus utilisées pour améliorer la performance de l'habitat en climat chaud ont suivi une étude thermique pour évaluer l'énergie dépensée par journée type et l'incidence financière qu'elles ont sur le coût global du projet. Avec ces deux données les actions retrouvent une valeur de temps de retour qui donne un argumentaire fort au choix des actions.

**6- Intégration des actions architecturales au projet de conception.**

Cet travail est la partie clef de la conception du projet architectural, il s'agit de s'approprier le sens des actions architecturales choisies et de les traduire dans un langage propre au projet. C'est là que la robustesse de notre choix, de sa compréhension donne de la cohérence au projet et permet de le défendre face au commanditaire. Ainsi notre méthode finit au démarrage de cette phase.

## 3-4- Profil climatique du site : Situations climatiques, journée type, saisons climatiques et l'année climatique

### 3-4-1- Principe de ouverture/fermeture : Situations climatiques 1, 2 et 3

Nous avons défini trois situations qui nous semblent représenter l'usage habituel d'un logement. Nous considérons que si la météo extérieure est agréable l'usager sera prêt à ouvrir la maison à l'extérieur et faire entrer a l'intérieur de la maison l'air extérieur à la température et humidité extérieure. Ce simple acte de ouvrir ou fermer implique l'établissement au sein du logement des stratégies de conception bioclimatique très différentes : celle de la maison «thermos» ou celle de la maison «passoire». La première, la maison «thermos» utilisera l'isolation aux murs, le renouvellement d'air mécanique et la gestion solaire précise alors que la deuxième la maison «passoire» profitera du décalage jour nuit pour stocker de l'énergie dans sa masse construite, favorisera la ventilation transversale...etc. Ces situations climatiques sont trois (Figure 3-3a) :

**Situation 1**

Il fait froid dehors, et le vecteur (température, humidité) est désagréable : les utilisateurs préfèrent fermer les portes et fenêtres et réduire l'échange avec l'extérieur et on laisse entrer un maximum de soleil par les ouvertures.

**Situation 2**

Il faut bon dehors, (température, humidité) est agréable à l'extérieur : les utilisateurs privilégient l'ouverture des portes et fenêtres, ainsi que la ventilation transversale.

*Figure 3-3a Logo des trois situations climatiques possibles, bleu : trop froid pour ouvrir, vert : bon à ouvrir, rouge : trop chaud pour ouvrir*



**Situation 3**

Il faut très chaud, le vecteur (température, humidité) est désagréable : les utilisateurs préfèrent fermer les portes et fenêtres et réduire l'échange avec l'extérieur. On bloque au maximum le soleil entrant par les ouvertures.

Les notions de «très froid», «froid», «chaud» et «très chaud», peut varier beaucoup en fonction des cultures et des contextes sociaux. Certaines cultures accepterons des températures que d'autres n'acceptent pas. Le contexte sociale joue aussi un rôle important : certains créneaux de température peuvent être considérées comme non appropriés pour une certaine partie de la société. Malheureusement, malgré tout l'intérêt que ce sujet suscite et les enjeux derrière cette problématique, l'objet de cet article n'est pas de discuter sur les seuils de confort les plus répandus en fonction des cultures. Pour évaluer la méthode que nous développons nous avons choisi le créneaux de températures acceptables la plus habituelle en Europe de 19ºC à 26ºC, mais elle pourra, et devra, être modifiée en fonction des cultures.

## 3-4-2- Journées types S1 à S6

Une fois définis les seuils de température de confort et ces trois situations climatiques, nous proposons six journées type pour classifier n'importe quelle jour de l'année. Ces journées sont définies en fonction des situations climatiques et quand elles se produisent (Figure 3-3b) : le jour ( froid, chaud ou agréable) ou la nuit ( froide, chaude ou agréable). Avec ces trois situations, 1, 2 et 3, et ses combinaisons possibles dans une même journée, 1-2, 1-2-3, 2-3, nous trouvons le profil de six journées type (Figure 3-3c). Si une de ces journées type dure plusieurs jours, ce qui est le plus habituel, nous l'appellerons «Saison Climatique». Comme pour les journées type, nous pouvons trouver 6 types différentes de saisons climatiques. Les six saisons climatiques, sont des périodes qui peuvent durer plusieurs mois mais où la stratégie climatique reste la même

## 3-4-3- Les saisons climatiques et l'année climatique

Pour pouvoir découper l'année d'une ville en saisons thermiques nous allons utiliser un indice très répandu et relativement accessible dans toutes les bibliographies et sites Internet : les Degrés-Jour de chauffage (DJC) , Heating Degrés Day en anglais (HDD), et de refroidissement (DJR), Cooling Degrés Day (CDD). Nous allons chercher les deux valeurs DJC et DJR associées au seuil haut du créneau de température de confort, typiquement 26ºC, et nous allons chercher les deux valeurs DJC et DJR associés au seuil bas de température, dans notre cas 19ºC. Notre objectif est d'utiliser les degrés-jour pour caractériser une journée réelle en journée type ou un mois réel dans une saison climatique. Pour cela, nous avons besoin d'établir des règles qui déterminent comment procéder en fonction des valeurs DJR et DJC. Pour déterminer si un mois de l'année appartient à la saison thermique S1, S2,… ou S6, il suffira d'appliquer la règle définie par les conditions suivantes :

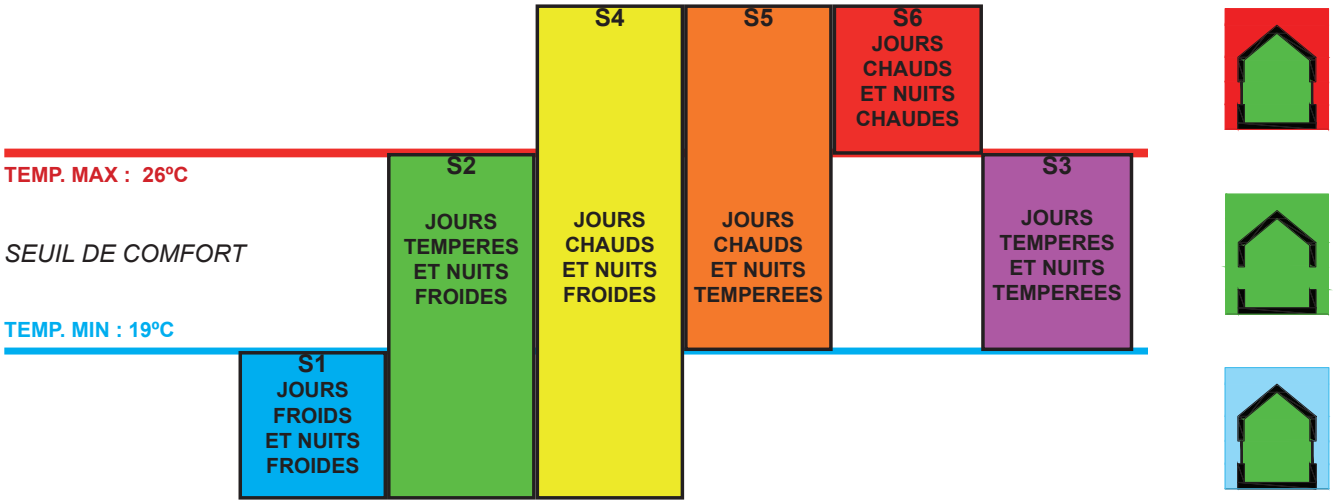



*Figure 3-3b Schéma des saisons climatiques*

*Pour S1 : les DJR19ºC =0*
*Pour S2 : les DJR19ºC > 0 et les DJR26ºC = 0*
*Pour S3 : les DJC19ºC = 0 et les DJR26ºC = 0*
*Pour S4 : les DJC19ºC > 0 et les DJR26ºC > 0*
*Pour S5 : les DJC19ºC = 0 et les DJR26ºC > 0*
*Pour S6 : les DJC26ºC = 0*

Nous définissons un taux de tolérance de 0% lorsque, nous appliquons strictement les conditions ci dessus. Afin d'illustrer l'application de cette règle, nous avons représenté le climat de Bordeaux par saisons climatiques avec une tolérance de dépassement de 0% (Figure 3-4).

Afin de discuter la pertinence d'un taux de tolérance de 0%, nous allons regarder de plus prés la signification des dégrées jours, de chauffage et refroidissement, DJC et DJR, autour d'une température donnée. Nous analysons aussi le rapport entre les valeurs DJC et DJR des deux températures extrêmes de la plage de confort, dans notre cas :19ºC et 26ºC, et la valeur de l'amplitude de la plage de confort, 7ºC. Nous allons montrer le rapport entre ces trois valeurs. A titre d'exemple, et pour mieux comprendre le rapport simple entre les trois, nous allons l'illustrer à l'aide de trois questions :

Question 1
*Si nous avons une température constante de 23ºC le long d'une journée.*
*Combien de DJR19ºC nous aurons dans la journée ?*
*Réponse : DJR19º=23-19=4DJR*
*Si nous avons une température constante de 23ºC le long d'une journée.*
*Combien de DJC26ºC nous aurons dans la journée ?*
*Réponse : DJC26º=26-23= +3DJC = -3DJR = CCD26º*
*Rapport avec la plage de confort:*
*DJR19º - DJR26º= 4 – (- 3) = 7 = plage de confort de 19ºC à 26ªC*

Question 2
*Si nous avons une température constante de 28ºC le long d'une journée.*
*Combien de DJR19ºC nous aurons dans la journée ?*
*Réponse : 28-19=9DJR*
*Si nous avons une température constante de 28ºC le long d'une journée.*
*Combien de DJC26ºC nous aurons dans la journée ?*
*Réponse : DJC26º=26-28= -2DJC = +2DJR = CCD26º*
*Rapport avec la plage de confort:*
*DJR19º - DJR26º= 9 – (2) = 7 = plage de confort de 19 a 26*
*Si l'on considère que les DJC son positifs et les DJR sont négatifs*

**S1**

*Saison climatique S1 : jours froids et nuits froides*
*Cette saison est la plus froid de toutes, et elle est caractéristique de grand nombre de villes en Europe du nord pendant l'hiver. Les températures sont basses, et même si elles peuvent ne pas être extrêmes elles sont en permanence sous le seuil de température considérée comme froide et inconfortable pour être dehors.*

**S2**

*Saison climatique S2 : jours tempérés et nuits froides*
*Cette saison combine des températures journalières qui sont confortables sans jamais dépasser le seuil de confort haut, et des températures basses qui sont sous le seuil de confort bas. Il s'agit d'une saison où le jour, la température extérieure est confortable, et le soir elle descend sous les seuils de confort.*

**S3**

*Saison climatique S3 : jours tempérés et nuits tempérées*
*Cette saison est toujours confortable en termes de température, car les températures maximale et minimale journalières restent toujours à l'intérieur des seuils de confort. Cette typologie est associée à des villes tropicales et proches de la mer, qui est à une température de 23ºC environs et régule ainsi les températures journalières. Une caractéristique des lieux que présentent cette saison thermique, est la forte humidité ambiante et sa faible fluctuation journalière.*

**S4**

*Saison climatique S4 : jours chauds et nuits froides*
*Les températures maximales journalières sont au-dessus du seuil haut de confort, ceci arrive pendant la journée, et les températures minimales journalières sont sous le seuil bas de confort, ce qui arrive la nuit. Une grande partie de la journée, les températures sont confortables.*

**S5**

*Saison climatique S5 : jours chauds et nuits tempérées*
*Les températures maximales journalières sont au-dessus du seuil haut de confort, ceci arrive pendant la journée, et les températures minimales journalières restent au-dessus du seuil basse de confort, ce qui arrive la nuit. Un grande partie de la journée, les températures sont inconfortables et le soir, elles sont confortables sans jamais avoir froid.*

**S6**

*Saison climatique S6 : jours chauds et nuits chaudes*
*Cette saison est la plus chaude de toutes, les températures sont hautes tout le temps, et même si elles peuvent ne pas être extrêmes elles sont en permanence sur le seuil haut de température de confort. Normalement si les nuits sont au-dessus du seuil de confort, les jours seront bien au-dessus du seuil de confort. Elle est caractéristique de grand nombre de villes au Moyen Orient pendant l'été.*

*Figure 3-3c Description des six saisons climatiques proposées par la méthode*

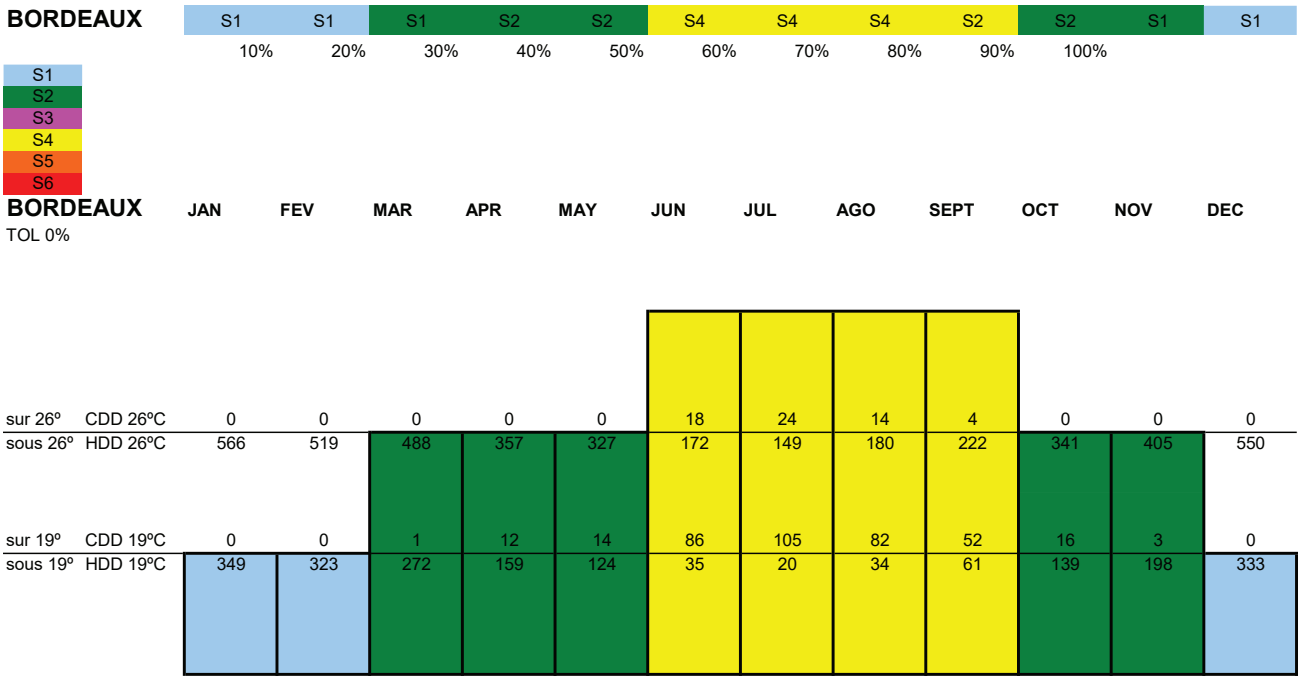



*Figure 3-4 Combinaisons des saisons climatiques pour une année à Bordeaux avec une tolerance 0%*

*DDseuil bas=DD19º=-9 ; DJ seuil haut=DD26º=-2*
*Alors la plage de confort est*
*DDseuil haut – DDseuil bas -2-(-9)=7 = Plage de confort thermique*

Question 3
*Quelle est la moyenne des valeurs DJR et DJC des ces deux jours?*
*Réponse :La somme des DJ 19º des deux jours donne : SumDD19º=(-4)+(-9) = -13*
*(comme c'est négatif ce sont des DJR)*
*La somme des DJ 26º des deux jours donne : SumDD26º=(+3)+(-2) = 1*
*(comme c'est positif ce sont des DJC)*
*Si nous faisons : DDseuil haut – DDseuil bas et après les divisons par le nombre de jours, ca donne :*
*(SumDD26º -SumDD19º)/2 =( 1-(-13))/2= (1+13)/2= 14/2=7= plage de confort de 19ºC à 26ªC*

Si nous disposons des chiffres mensuelles qui représentent la somme des DJR/DJC de chaque jour, nous devrions pouvoir le diviser par le nombre de jours et reproduire la même opération mais avec une journée moyenne du mois.

Si nous faisons ceci pour la période d'un mois de avril , pour Bordeaux, par exemple (Figure 3-4) :
*SumDD19º Bordeaux avril = 159 (DJC) – 12 (DJR) = 147 DJ*
*SumDD26º Bordeaux avril = 357 (DJC) = 357 DJ*
*Le mois d'avril a 30 jours*
*(SumDD26º -SumDD19º)/30 =(357-147)/30=7 donc les chiffres des tableaux semblent correspondre.*
*Après avoir appliqué cette opération a tous les tableaux, les chiffres correspondent.*

Ainsi:

*L'amplitude du creneau de confort = DJR du seuil bas + DJC du seuil haut*

La somme des DJR du seuil bas et des DJC du seuil haut quantifient le niveau d'exigence de notre créneau de confort. Des valeurs très bas impliquent des créneaux très exigeants et potentiellement énergivores et le contraire pour les valeurs plus importantes. Cette première formule nous permettra vérifier dans un premier temps si les valeurs obtenus a partir des sources que nous ne connaissons bien, sont coherents.

## 3-4-4- Stress thermique : intensité des DJ autour d'un créneau de température

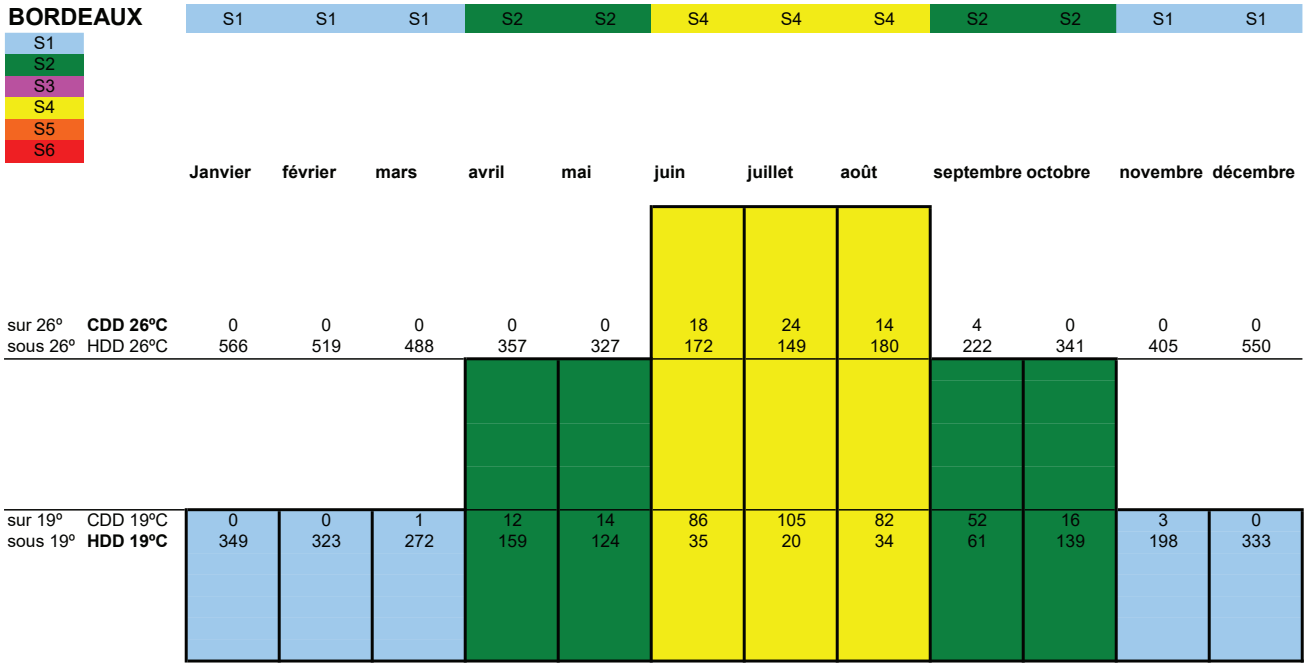
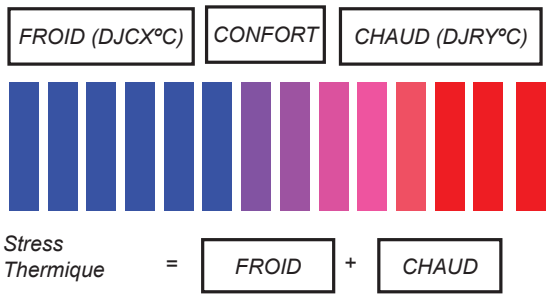



*Figure 3-5 Combinaisons des saisons climatiques pour une année à Bordeaux avec une tolérance de 5%*

Nous allons introduire un concept que nous appellerons «stress thermique» que nous désignerons par STh, et il peut être calculé autour une température, et dans notre cas, autour d'un créneau de température de confort. Nous allons définir le «Stress thermique» comme la somme de la valeur absolue des DJR du seuil haut et des DJC du seuil bas autour un créneau de température de confort donnée. Nous le calculerons de la manière suivante :

*STh [XY]°C = /DJCX°C/ + /DJRY°C/*
*avec*
*X la température basse du seuil de confort*
*et*
*Y la température haute du seuil de confort.*




Cette valeur représente toute l'énergie apportée pour rester dans une température donnée. Pour simplifier, il nous indique quelle effort thermique nous devons faire, en chauffage et/ou refroidissement, pour rester à valeur constante de la température de référence. La signification physique de la somme absolue des DJR et DJC autour d'un point représente son stress thermique pour rester à la valeur constante de la température de référence. Ainsi plus la somme des valeurs absolus DJR et DJC sera petite, plus la température ambiante sera proche des seuils de confort et avec des petites variations autour de la valeur de la température de référence. Par ailleurs, plus est grande la somme absolue, plus la température ambiante extérieure s'est éloignée de la température de référence, ou il a eu de grandes variations de température entre le jour et la nuit.

## 3-4-5- Tolérance de dépassement des Saisons climatiques en et son rapport avec le stress thermique

La règle proposée précédèrent pour classifier les périodes d'une année en saisons climatiques, avec une tolérance 0%, est trop stricte car il suffira que dans une journée très froide (S1) la température extérieure passe un jour d'un dégrée le seuil de confort pour la considérer comme une saison tempérée-froide (S2). Il nous faut alors permettre un certain dépassement. Pour permettre ce dépassement nous allons nous appuyer sur la valeur de stress thermique, et nous allons considérer que si le dépassement de DJ est inférieur à un pourcentage du stress thermique, la saison thermique ne change pas. Pour cette étude nous choisissons une valeur de 5% de dépassement maximale ce qui nous semble une tolérance acceptable et utilisée largement dans la littérature scientifique. Le choix de ce pourcentage est arbitraire et nous pourrons le modifier en fonction des possibilités en termes de la stratégie thermique choisie. Avec cette nouvelle règle, et pour appartenir à une

saison climatique, les critères sont les suivants :

*Pour S1 :*
*le DJR19ºC ne peut pas être supérieur de 5% de la somme absolue de DJR19ºC+DJC19ºC*

*Pour S2 :*
*le DJR19ºC doivent être supérieurs de 5% de la somme absolue de DJR19ºC+DJC190ºC et*
*le DJR26ºC ne peut pas être supérieur de 5% de la somme absolue de DJR26ºC+DJC26ºC*

*Pour S3 :*
*le DJC19ºC ne peut pas être supérieur de 5% de la somme absolue de DJR19ºC+DJC19ºC et*
*le DJR26ºC ne peut pas être supérieur de 5% de la somme absolue de DJR26ºC+DJC26ºC*

*Pour S4 :*
*le DJC19ºC doit être supérieur de 5% de la somme absolue de DJR19ºC+DJC19ºC et*
*le DJR26ºC doit être supérieur de 5% de la somme absolue de DJR26ºC+DJC26ºC*

*Pour S5 :*
*le DJC19ºC ne peut pas être supérieur de 5% de la somme absolue de DJR19ºC+DJC19ºC et*
*le DJR26ºC doit être supérieur de 5% de la somme absolue de DJR26ºC+DJC26ºC*

*Pour S6 :*
*le DJC26ºC ne peut pas être supérieur de 5% de la somme absolue de DJR26ºC+DJC26ºC*

La Figure 3-5 montre le classement du climat de Bordeaux avec une tolérance de 5%. La comparaison avec une tolérance 0% montre que en restant 5% plus souples dans le classement, Bordeaux devient une ville plus «froide», avec 5 mois au lieu de 3 mois classées S1, et 3 mois au lieu de 4 mois classés S4. Elle a plus de saisons froides et moins de saisons chaudes avec la tolérance de 5% que sans elle.

La Figure 3-6 montre les valeurs de la météo de Dubaï : les températures minimales et maximales mensuelles qui inviteraient à fermer ou à ouvrir le logement à l'extérieur. Elle montre aussi la classification des saisons thermiques à Dubaï en utilisant les DJ avec une tolérance de 5% de dépassement par rapport au stress thermique de chaque mois. Les valeurs des températures max et min est cohérent, à notre avis avec la classification de la météo avec les DJ.

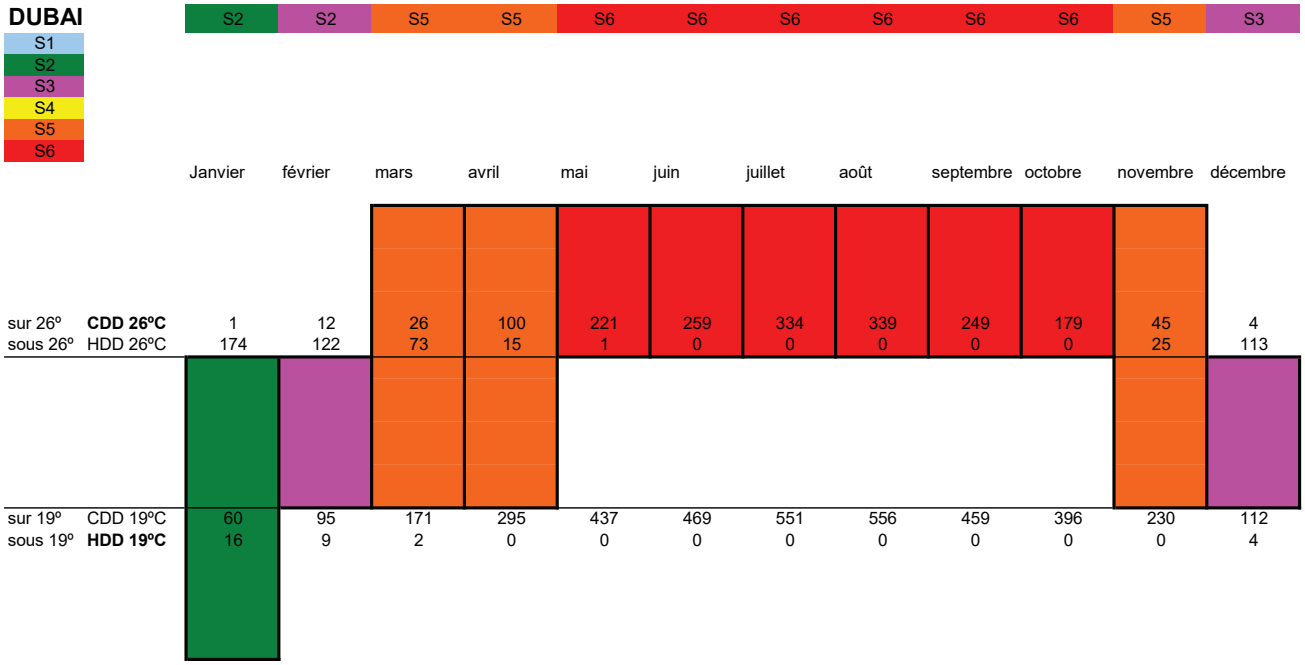
Si nous représentons la combinaison des saisons thermiques en fonction des villes pendant une année, que nous appellerons «année climatique», nous obtenons le schéma de la Figure 3-7. La combinaison des saisons climatiques des villes que nous avons utilisées nous permettent définir plusieurs exemples de typologies d'années climatiques :

| | |
|---|---|
| Tempéré froid : | S1+S2+S4 (Paris, Bordeaux) |
| Tempéré chaud : | S1+S2+S4+S5 (Madrid, Valencia, Sevilla, Jerico) |
| Très chaud sec : | S2+S4+S5 +S6 (Riyad, Medine, Makkah) |
| Très chaud humide : | S2+S3+S5 +S6 (Dubaï, Jeddah, Doha) |

## 3-4-6- Intégrer les valeurs d'humidité relative dans l'année climatique

La méthode décrite précédente est basée strictement sur le paramètre de la température de l'air, alors que la température la plus représentative pour définir le besoin d'utiliser ou pas la climatisation, de fermer ou pas les fenêtres, est la température du bulbe humide. Les critères les plus adaptés pour classer le site d'un projet serait la comptabilisation des DJR et DJC mais en rapport avec la température du bulbe humide, ou une température ressentie, comme décrit dans le chapitre 1-3-3. Utiliser la température du bulbe humide impliquerait d'adapter le seuil de confort à une température maximale acceptable de 20ºC (chapitre 1-3-3) ce qui est la limite de la température de confort avec une humidité relative (HR) de 100%. Pour la température basse du seuil nous pouvons maintenir la température de l'air à 19ºC. En effet, à basses températures l'humidité relative à moins d'influence sur la température ressentie, et ce sera plus la température de l'air qui orientera davantage le choix d'ouvrir ou fermer. Par contre pour pouvoir évaluer l'influence de l'humidité relative il est indispensable que les deux mesures existent et soient accessibles au concepteur.

Pour que l'outil fonctionne la démarche doit rester simple : pour transformer les deux coordonnées du vecteur Température-Humidité locale ($T^a$, HR) en une seule température ressentie, nous allons utiliser la formule du Heat Index proposé par le gouvernement américain. Cette formule nous permettra de trouver la température ressentie des couples ($T^a$,HR) par heure et par jour pendant un an, deux, mais ceci seulement pour




| | | Janvier | février | mars | avril | mai | juin | juillet | août | septembre | octobre | novembre | décembre |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| sur 26° | **CDD 26°C** | 1 | 12 | 26 | 100 | 221 | 259 | 334 | 339 | 249 | 179 | 45 | 4 |
| sous 26° | HDD 26°C | 174 | 122 | 73 | 15 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25 | 113 |
| sur 19° | CDD 19°C | 60 | 95 | 171 | 295 | 437 | 469 | 551 | 556 | 459 | 396 | 230 | 112 |
| sous 19° | **HDD 19°C** | 16 | 9 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| jours par mois | | 31 | 28 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 |
| Somme DD | | 217 | 196 | 216 | 210 | 217 | 210 | 217 | 217 | 210 | 217 | 210 | 217 |
| somme DD/jours mois | | 7,0 | 7,0 | 7,0 | 7,0 | 7,0 | 7,0 | 7,0 | 7,0 | 7,0 | 7,0 | 7,0 | 7,0 |
| CDD26/Somme DD | | 0,5% | 6,1% | 12,0% | 47,6% | 101,8% | 123,3% | 153,9% | 156,2% | 118,6% | 82,5% | 21,4% | 1,8% |
| HDD26/Somme DD | | 80,2% | 62,2% | 33,8% | 7,1% | 0,5% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 11,9% | 52,1% |
| CDD19/Somme DD | | 27,6% | 48,5% | 79,2% | 140,5% | 201,4% | 223,3% | 253,9% | 256,2% | 218,6% | 182,5% | 109,5% | 51,6% |
| DD/Somme DD | | 7,4% | 4,6% | 0,9% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 1,8% |
| date 2005 | | 14/1 | 18/2 | 16/3 | 9/4 | 18/5 | 10/6 | 13/7 | 8/8 | 13/9 | 15/10 | 17/11 | 14/12 |
| Temp max | | 23 | 25 | 27 | 32 | 35 | 42 | 45 | 45 | 41 | 37 | 30 | 27 |
| Hum min | | 53% | 34% | 42% | 31% | 22% | 14% | 11% | 12% | 15% | 27% | 20% | 28% |
| Temp min | | 16 | 16 | 23 | 22 | 25 | 32 | 34 | 34 | 30 | 28 | 23 | 19 |
| Hum max | | 82% | 82% | 83% | 64% | 54% | 59% | 59% | 34% | 70% | 66% | 65% | 64% |

*Figure 3-6 Comparaison de la classification climatique selon la méthode proposée avec une des températures et les humidités réelles de Dubaï en 2005. Cela nous donne une classification stratégique cohérente*

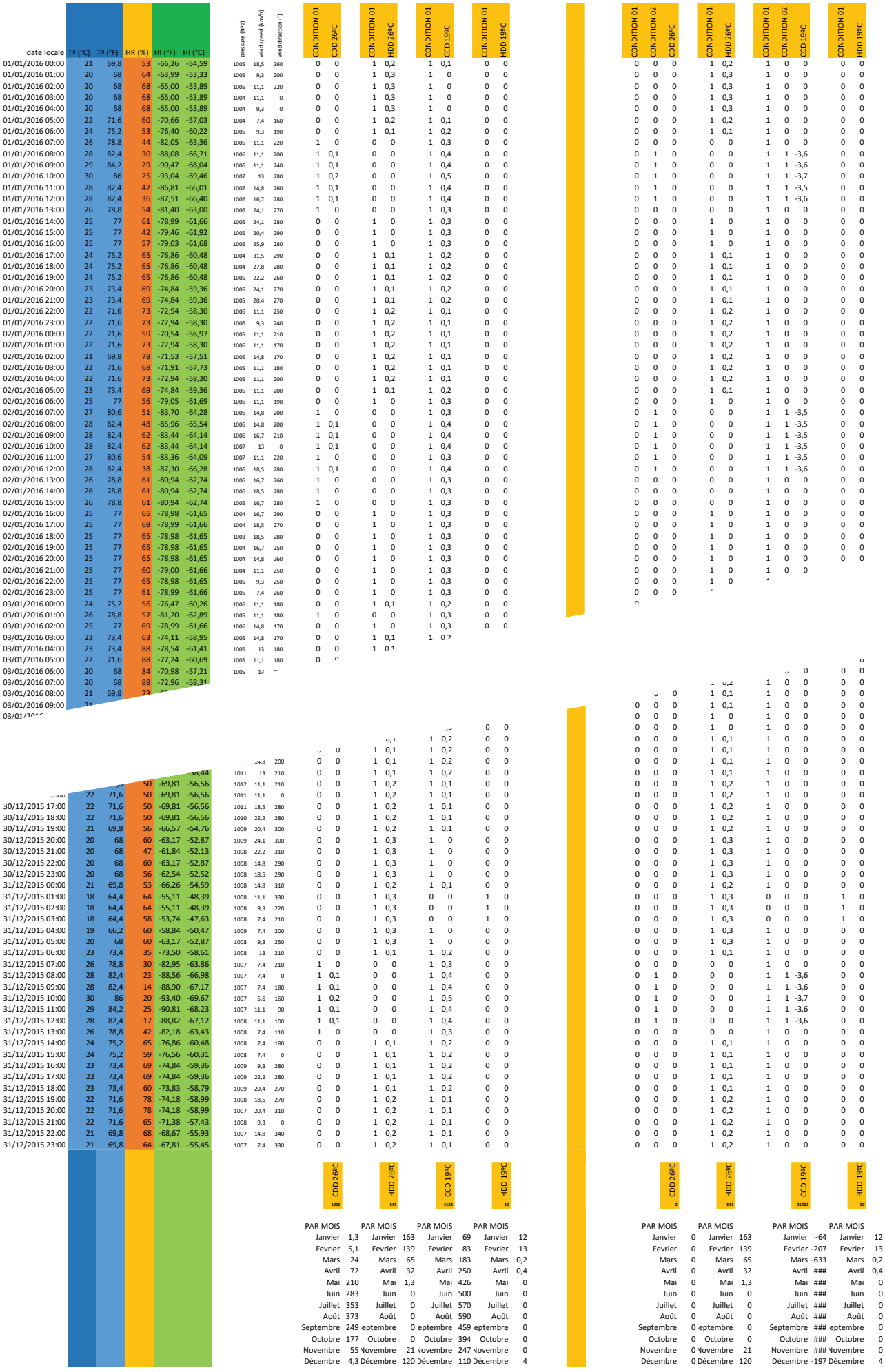
des températures supérieures a 26ºC à cause de la nature d'ajustement polynomique sur des températures entre 26ºC et 43ºC mais pas en dehors. Ainsi, le polynôme donne des valeurs faux en dessous de 26ºC comme montrent les incohérences entre les valeurs des températures ressenties de la Figure 3-10b (calculées avec le polynôme HI) et le tableau Humidex de la Figure 1-27.

Dans cet exercice nous avons utilisé la formule du «Heat Index» pour transformer toutes les températures, ce qui est faux. Cependant l'objectif de cette chapitre est de montrer que avec les bons outils de conversion nous pouvons trouver des températures équivalentes incluant l'humidité. Cette démarche devra être corrigé avec des valeurs d'un logiciel de conversion pour pouvoir intégrer l'humidité relative dans le calcul des DJC26ºC dans le diagramme des saisons thermiques.

A titre d'exemple nous allons utiliser la formule du «Heat Index» (Figure 1-26). Puisqu'elle est en dégrées Farenheiht, nous avons fait plusieurs conversions et déconversions pour avoir finalement le résultat de la température ressentie en ºC. Nous avons utilisé les DJRHumidité à 26ºC et à 19ºC pour calculer la somme équivalente par mois. Par contre les valeurs de DJC à 26ºC et à 19ºC reste le même. Avec ces opérations nous avons transformé les DJR (Cooling Dégrée Days) en DJRHumidité en intégrant la variable HR associé à une température de l'air à chaque heure pendant un an.

## 3-4-7- Comparatif entre les valeurs avec et sans la prise en compte de l'humidité relative (HR)

Nous avons testé cette méthode sur la ville de Dubaï (Figure 3-10), et Médine (Figure 3-11), dont une a un climat plutôt humide pour sa proximité de la mer, et l'autre est réputée d'avoir un climat plutôt sec. Les donnes de Dubaï sont de 2005 et celles de Médine de 2015, donc nous ne pouvons pas les comparer entre elles mais nous serons en mesure de faire la comparaison DDT$^{a}$air versus DDHumidité. Les résultats sont intéressants sur deux aspects : la modification des diagrammes des saisons climatiques à cause de la variable



| date locale | Tª (°C) | Tª (°F) | HR (%) | HI (°F) | HI (°C) | pressure (hPa) | wind speed (km/h) | wind direction (°) | CONDITION 01 | CDD 26ºC | CONDITION 01 | HDD 26ºC | CONDITION 01 | CCD 19ºC | CONDITION 01 | HDD 19ºC | CONDITION 01 | CONDITION 02 | CDD 26ºC | CONDITION 01 | HDD 26ºC | CONDITION 01 | CONDITION 02 | CCD 19ºC | CONDITION 01 | HDD 19ºC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 01/01/2016 00:00 | 21 | 69,8 | 53 | -66,26 | -54,59 | 1005 | 18,5 | 260 | 0 | 0 | 1 | 0,2 | 1 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 01/01/2016 01:00 | 20 | 68 | 64 | -63,99 | -53,33 | 1005 | 9,3 | 200 | 0 | 0 | 1 | 0,3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 01/01/2016 02:00 | 20 | 68 | 68 | -65,00 | -53,89 | 1005 | 11,1 | 220 | 0 | 0 | 1 | 0,3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 01/01/2016 03:00 | 20 | 68 | 68 | -65,00 | -53,89 | 1004 | 11,1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 01/01/2016 04:00 | 20 | 68 | 68 | -65,00 | -53,89 | 1004 | 9,3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 01/01/2016 05:00 | 22 | 71,6 | 60 | -70,66 | -57,03 | 1004 | 7,4 | 160 | 0 | 0 | 1 | 0,2 | 1 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 01/01/2016 06:00 | 24 | 75,2 | 53 | -76,40 | -60,22 | 1005 | 9,3 | 190 | 0 | 0 | 1 | 0,1 | 1 | 0,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 01/01/2016 07:00 | 26 | 78,8 | 44 | -82,05 | -63,36 | 1005 | 11,1 | 220 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 01/01/2016 08:00 | 28 | 82,4 | 30 | -88,08 | -66,71 | 1006 | 11,1 | 200 | 1 | 0,1 | 0 | 0 | 1 | 0,4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | -3,6 | 0 | 0 |
| 01/01/2016 09:00 | 29 | 84,2 | 29 | -90,47 | -68,04 | 1006 | 11,1 | 240 | 1 | 0,1 | 0 | 0 | 1 | 0,4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | -3,6 | 0 | 0 |
| 01/01/2016 10:00 | 30 | 86 | 25 | -93,04 | -69,46 | 1007 | 13 | 280 | 1 | 0,2 | 0 | 0 | 1 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | -3,7 | 0 | 0 |
| 01/01/2016 11:00 | 28 | 82,4 | 42 | -86,81 | -66,01 | 1007 | 14,8 | 260 | 1 | 0,1 | 0 | 0 | 1 | 0,4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | -3,5 | 0 | 0 |
| 01/01/2016 12:00 | 28 | 82,4 | 36 | -87,51 | -66,40 | 1006 | 16,7 | 280 | 1 | 0,1 | 0 | 0 | 1 | 0,4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | -3,6 | 0 | 0 |
| 01/01/2016 13:00 | 26 | 78,8 | 54 | -81,40 | -63,00 | 1006 | 24,1 | 270 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 01/01/2016 14:00 | 25 | 77 | 61 | -78,99 | -61,66 | 1005 | 24,1 | 280 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 01/01/2016 15:00 | 25 | 77 | 42 | -79,46 | -61,92 | 1005 | 20,4 | 290 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 01/01/2016 16:00 | 25 | 77 | 57 | -79,03 | -61,68 | 1005 | 25,9 | 280 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 01/01/2016 17:00 | 24 | 75,2 | 65 | -76,86 | -60,48 | 1004 | 31,5 | 290 | 0 | 0 | 1 | 0,1 | 1 | 0,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 01/01/2016 18:00 | 24 | 75,2 | 65 | -76,86 | -60,48 | 1004 | 27,8 | 280 | 0 | 0 | 1 | 0,1 | 1 | 0,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 01/01/2016 19:00 | 24 | 75,2 | 65 | -76,86 | -60,48 | 1005 | 22,2 | 260 | 0 | 0 | 1 | 0,1 | 1 | 0,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 01/01/2016 20:00 | 23 | 73,4 | 69 | -74,84 | -59,36 | 1005 | 24,1 | 270 | 0 | 0 | 1 | 0,1 | 1 | 0,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 01/01/2016 21:00 | 23 | 73,4 | 69 | -74,84 | -59,36 | 1005 | 20,4 | 270 | 0 | 0 | 1 | 0,1 | 1 | 0,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 01/01/2016 22:00 | 22 | 71,6 | 73 | -72,94 | -58,30 | 1006 | 11,1 | 250 | 0 | 0 | 1 | 0,2 | 1 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 01/01/2016 23:00 | 22 | 71,6 | 73 | -72,94 | -58,30 | 1006 | 9,3 | 240 | 0 | 0 | 1 | 0,2 | 1 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02/01/2016 00:00 | 22 | 71,6 | 59 | -70,54 | -56,97 | 1005 | 11,1 | 210 | 0 | 0 | 1 | 0,2 | 1 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02/01/2016 01:00 | 22 | 71,6 | 73 | -72,94 | -58,30 | 1006 | 11,1 | 170 | 0 | 0 | 1 | 0,2 | 1 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02/01/2016 02:00 | 21 | 69,8 | 78 | -71,53 | -57,51 | 1005 | 14,8 | 170 | 0 | 0 | 1 | 0,2 | 1 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02/01/2016 03:00 | 22 | 71,6 | 68 | -71,91 | -57,73 | 1005 | 11,1 | 180 | 0 | 0 | 1 | 0,2 | 1 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02/01/2016 04:00 | 22 | 71,6 | 73 | -72,94 | -58,30 | 1005 | 11,1 | 200 | 0 | 0 | 1 | 0,2 | 1 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02/01/2016 05:00 | 23 | 73,4 | 69 | -74,84 | -59,36 | 1005 | 11,1 | 200 | 0 | 0 | 1 | 0,1 | 1 | 0,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02/01/2016 06:00 | 25 | 77 | 56 | -79,05 | -61,69 | 1006 | 11,1 | 190 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02/01/2016 07:00 | 27 | 80,6 | 51 | -83,70 | -64,28 | 1006 | 14,8 | 200 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | -3,5 | 0 | 0 |
| 02/01/2016 08:00 | 28 | 82,4 | 48 | -85,96 | -65,54 | 1006 | 14,8 | 200 | 1 | 0,1 | 0 | 0 | 1 | 0,4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | -3,5 | 0 | 0 |
| 02/01/2016 09:00 | 28 | 82,4 | 62 | -83,44 | -64,14 | 1006 | 16,7 | 210 | 1 | 0,1 | 0 | 0 | 1 | 0,4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | -3,5 | 0 | 0 |
| 02/01/2016 10:00 | 28 | 82,4 | 62 | -83,44 | -64,14 | 1007 | 13 | 0 | 1 | 0,1 | 0 | 0 | 1 | 0,4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | -3,5 | 0 | 0 |
| 02/01/2016 11:00 | 27 | 80,6 | 54 | -83,36 | -64,09 | 1007 | 11,1 | 220 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | -3,5 | 0 | 0 |
| 02/01/2016 12:00 | 28 | 82,4 | 38 | -87,30 | -66,28 | 1006 | 18,5 | 280 | 1 | 0,1 | 0 | 0 | 1 | 0,4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | -3,6 | 0 | 0 |
| 02/01/2016 13:00 | 26 | 78,8 | 61 | -80,94 | -62,74 | 1006 | 16,7 | 260 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02/01/2016 14:00 | 26 | 78,8 | 61 | -80,94 | -62,74 | 1006 | 18,5 | 280 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02/01/2016 15:00 | 26 | 78,8 | 61 | -80,94 | -62,74 | 1005 | 16,7 | 280 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02/01/2016 16:00 | 25 | 77 | 65 | -78,98 | -61,65 | 1004 | 16,7 | 290 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02/01/2016 17:00 | 25 | 77 | 69 | -78,99 | -61,66 | 1004 | 18,5 | 270 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02/01/2016 18:00 | 25 | 77 | 65 | -78,98 | -61,65 | 1003 | 18,5 | 280 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02/01/2016 19:00 | 25 | 77 | 65 | -78,98 | -61,65 | 1004 | 16,7 | 250 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02/01/2016 20:00 | 25 | 77 | 65 | -78,98 | -61,65 | 1004 | 14,8 | 260 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02/01/2016 21:00 | 25 | 77 | 60 | -79,00 | -61,66 | 1004 | 11,1 | 250 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | | |
| 02/01/2016 22:00 | 25 | 77 | 65 | -78,98 | -61,65 | 1005 | 9,3 | 250 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | | | | | |
| 02/01/2016 23:00 | 25 | 77 | 61 | -78,99 | -61,66 | 1005 | 7,4 | 260 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | |
| 03/01/2016 00:00 | 24 | 75,2 | 56 | -76,47 | -60,26 | 1006 | 11,1 | 180 | 0 | 0 | 1 | 0,1 | 1 | 0,2 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 03/01/2016 01:00 | 26 | 78,8 | 57 | -81,20 | -62,89 | 1005 | 11,1 | 180 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,3 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 03/01/2016 02:00 | 25 | 77 | 69 | -78,99 | -61,66 | 1006 | 14,8 | 170 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0,3 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 03/01/2016 03:00 | 23 | 73,4 | 63 | -74,11 | -58,95 | 1005 | 14,8 | 170 | 0 | 0 | 1 | 0,1 | 1 | 0,2 | | | | | | | | | | | | |
| 03/01/2016 04:00 | 23 | 73,4 | 88 | -78,54 | -61,41 | 1005 | 13 | 180 | 0 | 0 | 1 | 0,1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 03/01/2016 05:00 | 22 | 71,6 | 88 | -77,24 | -60,69 | 1005 | 11,1 | 180 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 03/01/2016 06:00 | 20 | 68 | 84 | -70,98 | -57,21 | 1005 | 13 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 03/01/2016 07:00 | 20 | 68 | 88 | -72,96 | -58,31 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 03/01/2016 08:00 | 21 | 69,8 | 73 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 03/01/2016 09:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 03/01/2016 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | JAN | FEV | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DEC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **EDINBURGH** | S1 | S1 | S1 | S1 | S1 | S1 | S1 | S1 | S1 | S1 | S1 | S1 |
| **PARIS** | S1 | S1 | S1 | S1 | S1 | S2 | S4 | S2 | S2 | S1 | S1 | S1 |
| **BORDEAUX** | S1 | S1 | S1 | S2 | S2 | S4 | S4 | S4 | S2 | S2 | S1 | S1 |
| **MADRID** | S1 | S1 | S1 | S2 | S4 | S4 | S5 | S5 | S4 | S2 | S1 | S1 |
| **JERICHO** | S1 | S1 | S2 | S2 | S4 | S5 | S5 | S5 | S5 | S4 | S1 | S1 |
| **VALENCIA** | S1 | S1 | S2 | S2 | S2 | S5 | S5 | S5 | S5 | S2 | S2 | S1 |
| **SEVILLA** | S1 | S1 | S2 | S2 | S4 | S5 | S5 | S5 | S5 | S2 | S2 | S1 |
| **RIYAHD** | S2 | S2 | S4 | S5 | S6 | S6 | S6 | S6 | S6 | S5 | S2 | S2 |
| **DOHA** | S2 | S2 | S5 | S5 | S6 | S6 | S6 | S6 | S6 | S6 | S5 | S2 |
| **DUBAI** | S2 | S3 | S5 | S5 | S6 | S6 | S6 | S6 | S6 | S6 | S5 | S3 |
| **DJEDDAH** | S5 | S5 | S5 | S5 | S6 | S6 | S6 | S6 | S6 | S6 | S5 | S5 |
| **MEDINAH** | S2 | S4 | S5 | S6 | S6 | S6 | S6 | S6 | S6 | S6 | S5 | S2 |
| **MAKKAH** | S5 | S5 | S5 | S6 | S6 | S6 | S6 | S6 | S6 | S6 | S5 | S5 |

*Figure 3-7 Combinaison des saisons climatiques des villes dans une année climatique*



HR (la variation de la stratégie bioclimatique que devra prendre en compte le concepteur), et aussi sur la modification du poids des DJR26ºC qui déterminent le besoin énergétique d'une maison en climatisation, ce qui montre que les DDHumidité peuvent faire changer le classement des villes les plus consommatrices.

**Dubaï DDTªair vs DDHI**

Dans le cas de Dubaï (Figure 3-10), la distribution des saisons climatiques ne change pas. Cependant le poids de la chaleur ressentie devient plus important : 1995 DJR26ºC à 2454 DJRHI26ºC, et qui fait à Dubaï devenir une ville «plus consommatrice de climatisation» que la ville de Médine, alors que avec seulement la température de l'air, c'etait le contraire. Dubaï devrait passer aussi devant d'autres villes comme La Mecque ,la premiere ville dans le classement initial des villes chaudes (chapitre 1).

**Médine DDTªair vs DDHI**

Dans le cas de Médine (Figure 3-11), les diagrammes changent et les hivers devient plus chaleureux avec la présence de l'humidité de jour, et l'été plus court à cause de l'aridité de l'air qui fait que le mois d'octobre soit en réalité plus doux. Ce qui est plus significatif est l'abaissement du poids des DJR 26ºC qui passe de 1872 DJR26ºC à 1546 DJRHI26ºC. Ceci signifie que si l'humidité relative dans l'air est prise en compte les dépenses du fait de la climatisation devraient descendre de 17%.

La prise en compte de l'humidité relative (HR) dans la conception initiale n'est pas immédiate ni évidente

**DUBAI**

**TEMPERATURE DE L'AIR**

| CDD 26ºC | | HDD 26ºC | | CCD 19ºC | | HDD 19ºC | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1935** | | **541** | | **4122** | | **30** | |
| PAR MOIS | | PAR MOIS | | PAR MOIS | | PAR MOIS | |
| Janvier | 1,333 | Janvier | 162,7 | Janvier | 69,25 | Janvier | 11,58 |
| Fevrier | 5,083 | Fevrier | 139,3 | Fevrier | 82,75 | Fevrier | 13,42 |
| Mars | 23,58 | Mars | 64,96 | Mars | 182,5 | Mars | 0,208 |
| Avril | 71,67 | Avril | 31,96 | Avril | 250,1 | Avril | 0,417 |
| Mai | 209,9 | Mai | 1,25 | Mai | 425,7 | Mai | 0 |
| Juin | 283,5 | Juin | 0 | Juin | 499,6 | Juin | 0 |
| Juillet | 353,4 | Juillet | 0 | Juillet | 570,4 | Juillet | 0 |
| Août | 373,3 | Août | 0 | Août | 590,3 | Août | 0 |
| Septembre | 248,8 | Septembre | 0 | Septembre | 458,8 | Septembre | 0 |
| Octobre | 177,4 | Octobre | 0 | Octobre | 394,4 | Octobre | 0 |
| Novembre | 54,87 | Novembre | 21,21 | Novembre | 247,2 | Novembre | 0 |
| Décembre | 4,25 | Décembre | 119,5 | Décembre | 110,4 | Décembre | 4 |

**HEAT INDEX**

| CDD 26ºC | | HDD 26ºC | | CCD 19ºC | | HDD 19ºC | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2454** | | **541** | | **4883** | | **30** | |
| PAR MOIS | | PAR MOIS | | PAR MOIS | | PAR MOIS | |
| Janvier | 1,757 | Janvier | 162,7 | Janvier | 139,3 | Janvier | 11,58 |
| Fevrier | 5,431 | Fevrier | 139,3 | Fevrier | 136,4 | Fevrier | 13,42 |
| Mars | 21,07 | Mars | 64,96 | Mars | 207,3 | Mars | 0,208 |
| Avril | 59,4 | Avril | 31,96 | Avril | 255,4 | Avril | 0,417 |
| Mai | 223,9 | Mai | 1,25 | Mai | 440,5 | Mai | 0 |
| Juin | 400,4 | Juin | 0 | Juin | 616,5 | Juin | 0 |
| Juillet | 459,9 | Juillet | 0 | Juillet | 676,9 | Juillet | 0 |
| Août | 444,5 | Août | 0 | Août | 661,5 | Août | 0 |
| Septembre | 370,3 | Septembre | 0 | Septembre | 580,3 | Septembre | 0 |
| Octobre | 271,7 | Octobre | 0 | Octobre | 488,7 | Octobre | 0 |
| Novembre | 61,64 | Novembre | 21,21 | Novembre | 265,2 | Novembre | 0 |
| Décembre | 6,13 | Décembre | 119,5 | Décembre | 174,5 | Décembre | 4 |

*Figure 3-9 Table récapitulative de la transformation des Degrés-Jour en Degrés-Jour équivalents Heat Index de l'année 2005 à Dubaï*

pour un concepteur, architecte ou ingénieur non initié à l'architecture bioclimatique et de basse consommation. Avec cette méthode nous arrivons à intégrer la variable HR dans la classement climatique d'une ville ou d'un lieu si on dispose de ses données annuelles Tª et HR.

De cet exercice ressort aussi que les villes chaudes côtières de la péninsule arabique doivent présenter des consommations énergétiques les plus importantes au monde. En effet suite à la comparaison entre les consommations des deux villes, Riyad et Jeddah ( ALDOSSARY et al.), nous constatons une cohérence des résultats entre la discussion dans ce chapitre et les valeurs annoncées dans l'article : Jeddah a une

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mars | 23,6 | Mars | 65 | Mars | 183 | Mars | 0,21 |
| Avril | 71,7 | Avril | 32 | Avril | 250 | Avril | 0,42 |
| Mai | 210 | Mai | 1,25 | Mai | 426 | Mai | 0 |
| Juin | 283 | Juin | 0 | Juin | 500 | Juin | 0 |
| Juillet | 353 | Juillet | 0 | Juillet | 570 | Juillet | 0 |
| Août | 373 | Août | 0 | Août | 590 | Août | 0 |
| Septembre | 249 | Septembre | 0 | Septembre | 459 | Septembre | 0 |
| Octobre | 177 | Octobre | 0 | Octobre | 394 | Octobre | 0 |
| Novembre | 54,9 | Novembre | 21,2 | Novembre | 247 | Novembre | 0 |
| Décembre | 4,25 | Décembre | 120 | Décembre | 110 | Décembre | 4 |

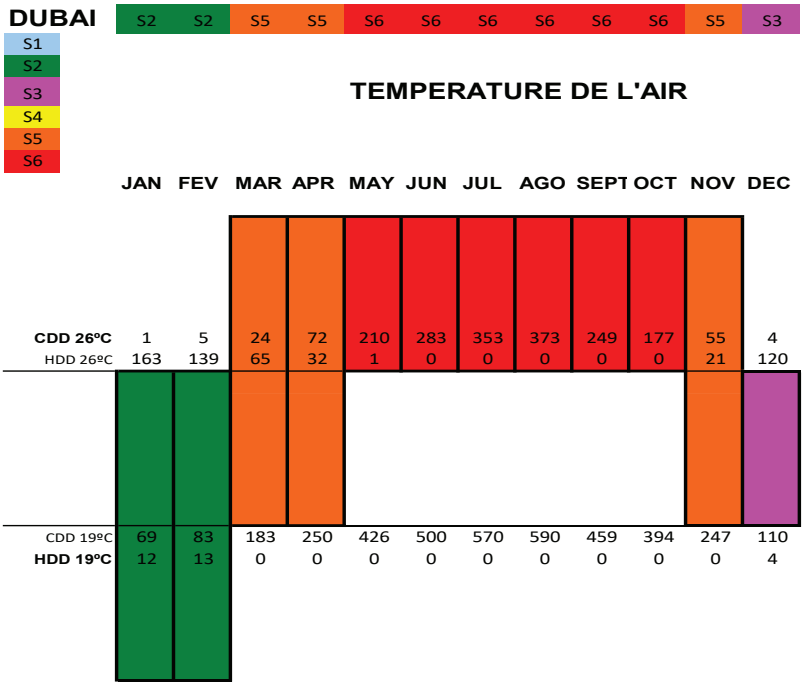



*Figure 3-10 Années climatiques de Dubaï avant et après la prise en compte de l'humidité relative par le Heat Index ( deux pages)*

| Tª (°C) | Tª (°F) | HR (%) | HI (°F) | HI (°C) |
|---|---|---|---|---|
| 19 | 66.2 | 20 | 73.46 | 23.03 |
| 20 | 68 | 20 | 73.76 | 23.20 |
| 21 | 69,8 | 20 | 74,18 | 23,43 |
| 22 | 71,6 | 20 | 74,70 | 23,72 |
| 23 | 73,4 | 20 | 75,33 | 24,07 |
| 24 | 75,2 | 20 | 76,07 | 24,48 |
| 25 | 77 | 20 | 76,92 | 24,95 |
| 26 | 78.8 | 20 | 77.88 | 25.49 |
| 27 | 80.6 | 20 | 78.95 | 26.08 |
| 28 | 82.4 | 20 | 80.13 | 26.74 |
| 29 | 84.2 | 20 | 81.42 | 27.45 |
| 30 | 86 | 20 | 82.82 | 28.23 |
| 31 | 87,8 | 20 | 84,32 | 29,07 |
| 32 | 89,6 | 20 | 85,94 | 29,97 |
| 33 | 91,4 | 20 | 87,67 | 30,93 |
| 34 | 93,2 | 20 | 89,51 | 31,95 |
| 35 | 95 | 20 | 91,45 | 33,03 |
| 36 | 96,8 | 20 | 93,51 | 34,17 |
| 37 | 98.6 | 20 | 95.68 | 35.38 |
| 38 | 100.4 | 20 | 97.95 | 36.64 |
| 39 | 102.2 | 20 | 100.34 | 37.97 |
| 40 | 104 | 20 | 102.84 | 39.35 |
| 41 | 105.8 | 20 | 105.44 | 40.80 |
| 42 | 107,6 | 20 | 108,16 | 42,31 |
| 43 | 109,4 | 20 | 110,98 | 43,88 |
| 44 | 111,2 | 20 | 113,92 | 45,51 |
| 45 | 113 | 20 | 116,96 | 47,20 |

| Tª (°C) | Tª (°F) | HR (%) | HI (°F) | HI (°C) |
|---|---|---|---|---|
| 19 | 66.2 | 30 | 76.42 | 24.68 |
| 20 | 68 | 30 | 76.17 | 24.54 |
| 21 | 69.8 | 30 | 76.10 | 24.50 |
| 22 | 71.6 | 30 | 76.22 | 24.57 |
| 23 | 73.4 | 30 | 76.52 | 24.73 |
| 24 | 75.2 | 30 | 77.00 | 25.00 |
| 25 | 77 | 30 | 77,67 | 25,37 |
| 26 | 78,8 | 30 | 78,51 | 25,84 |
| 27 | 80,6 | 30 | 79,54 | 26,41 |
| 28 | 82,4 | 30 | 80,76 | 27,09 |
| 29 | 84,2 | 30 | 82,15 | 27,86 |
| 30 | 86 | 30 | 83.73 | 28.74 |
| 31 | 87.8 | 30 | 85.49 | 29.72 |
| 32 | 89.6 | 30 | 87.44 | 30.80 |
| 33 | 91.4 | 30 | 89.57 | 31.98 |
| 34 | 93.2 | 30 | 91.88 | 33.26 |
| 35 | 95 | 30 | 94,37 | 34,65 |
| 36 | 96,8 | 30 | 97,05 | 36,14 |
| 37 | 98,6 | 30 | 99,90 | 37,72 |
| 38 | 100,4 | 30 | 102,95 | 39,41 |
| 39 | 102,2 | 30 | 106,17 | 41,21 |
| 40 | 104 | 30 | 109,58 | 43,10 |
| 41 | 105.8 | 30 | 113.17 | 45.09 |
| 42 | 107.6 | 30 | 116.94 | 47.19 |
| 43 | 109.4 | 30 | 120.90 | 49.39 |
| 44 | 111.2 | 30 | 125.03 | 51.69 |
| 45 | 113 | 30 | 129.35 | 54.09 |

| Tª (°C) | Tª (°F) | HR (%) | HI (°F) | HI (°C) |
|---|---|---|---|---|
| 19 | 66.2 | 40 | 77.96 | 25.53 |
| 20 | 68 | 40 | 77,37 | 25,21 |
| 21 | 69,8 | 40 | 77,04 | 25,02 |
| 22 | 71,6 | 40 | 76,95 | 24,97 |
| 23 | 73,4 | 40 | 77,12 | 25,07 |
| 24 | 75,2 | 40 | 77,55 | 25,30 |
| 25 | 77 | 40 | 78.22 | 25.68 |
| 26 | 78.8 | 40 | 79.16 | 26.20 |
| 27 | 80.6 | 40 | 80.34 | 26.86 |
| 28 | 82.4 | 40 | 81.78 | 27.65 |
| 29 | 84.2 | 40 | 83.47 | 28.59 |
| 30 | 86 | 40 | 85,41 | 29,67 |
| 31 | 87,8 | 40 | 87,61 | 30,89 |
| 32 | 89,6 | 40 | 90,06 | 32,26 |
| 33 | 91,4 | 40 | 92,77 | 33,76 |
| 34 | 93,2 | 40 | 95,72 | 35,40 |
| 35 | 95 | 40 | 98,93 | 37,19 |
| 36 | 96.8 | 40 | 102.40 | 39.11 |
| 37 | 98.6 | 40 | 106.12 | 41.18 |
| 38 | 100.4 | 40 | 110.09 | 43.38 |
| 39 | 102.2 | 40 | 114.31 | 45.73 |
| 40 | 104 | 40 | 118.79 | 48.22 |
| 41 | 105,8 | 40 | 123,52 | 50,84 |
| 42 | 107,6 | 40 | 128,51 | 53,61 |
| 43 | 109,4 | 40 | 133,74 | 56,52 |
| 44 | 111,2 | 40 | 139,23 | |
| 45 | 113 | 40 | 144,98 | |

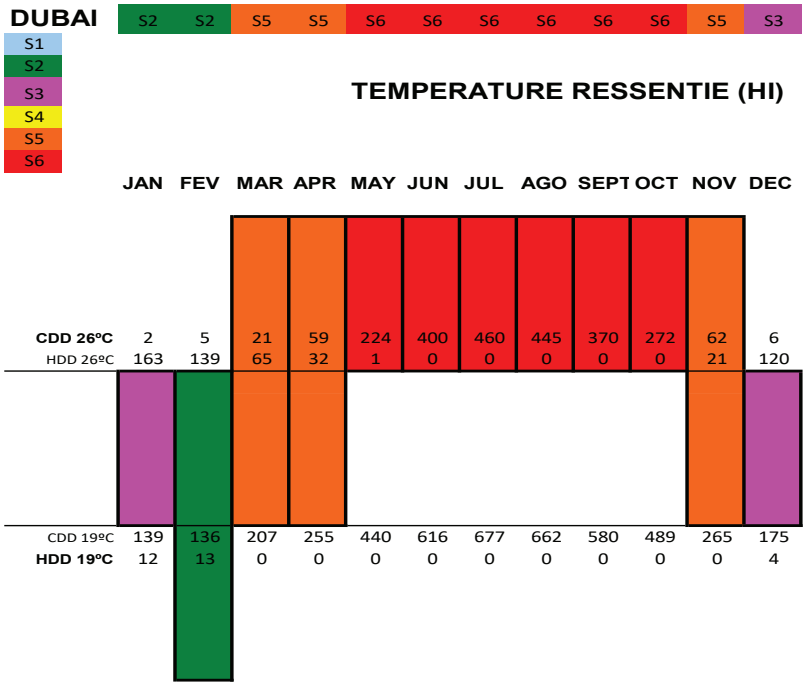
| Tª (°C) | Tª (°F) | HR (%) | HI (°F) | HI (°C) |
|---|---|---|---|---|
| 19 | 66.2 | 50 | 78.09 | 25.60 |
| 20 | 68 | 50 | 77,37 | 25,20 |
| 21 | 69,8 | 50 | 76,97 | 24,98 |
| 22 | 71,6 | 50 | 76,90 | 24,94 |
| 23 | 73,4 | 50 | 77,14 | 25,08 |
| 24 | 75,2 | 50 | 77,71 | 25,39 |
| 25 | 77 | 50 | 78,60 | 25,89 |
| 26 | 78.8 | 50 | 79.80 | 26.56 |
| 27 | 80.6 | 50 | 81.34 | 27.41 |
| 28 | 82.4 | 50 | 83.19 | 28.44 |
| 29 | 84.2 | 50 | 85.36 | 29.64 |
| 30 | 86 | 50 | 87.85 | 31.03 |
| 31 | 87,8 | 50 | 90,67 | 32,59 |
| 32 | 89,6 | 50 | 93,81 | 34,34 |
| 33 | 91,4 | 50 | 97,27 | 36,26 |
| 34 | 93,2 | 50 | 101,05 | 38,36 |
| 35 | 95 | 50 | 105,15 | 40,64 |
| 36 | 96.8 | 50 | 109.57 | 43.09 |
| 37 | 98.6 | 50 | 114.31 | 45.73 |
| 38 | 100.4 | 50 | 119.38 | 48.54 |
| 39 | 102.2 | 50 | 124.77 | 51.54 |
| 40 | 104 | 50 | 130.47 | 54.71 |
| 41 | 105,8 | 50 | 136,50 | 58,06 |
| 42 | 107,6 | 50 | 142,85 | |
| 43 | 109,4 | 50 | 149,53 | |
| 44 | 111,2 | 50 | 156,52 | |
| 45 | 113 | 50 | 163,83 | |

| Tª (°C) | Tª (°F) | HR (%) | HI (°F) | HI (°C) |
|---|---|---|---|---|
| 19 | 66.2 | 60 | 76.80 | 24.89 |
| 20 | 68 | 60 | 76.16 | 24.53 |
| 21 | 69.8 | 60 | 75.91 | 24.40 |
| 22 | 71,6 | 60 | 76,05 | 24,47 |
| 23 | 73,4 | 60 | 76,57 | 24,76 |
| 24 | 75,2 | 60 | 77,48 | 25,27 |
| 25 | 77 | 60 | 78,78 | 25,99 |
| 26 | 78.8 | 60 | 80,46 | 26,92 |
| 27 | 80.6 | 60 | 82.53 | 28.07 |
| 28 | 82.4 | 60 | 84.99 | 29.44 |
| 29 | 84.2 | 60 | 87.83 | 31.02 |
| 30 | 86 | 60 | 91.06 | 32.81 |
| 31 | 87.8 | 60 | 94.68 | 34.82 |
| 32 | 89,6 | 60 | 98,68 | 37,04 |
| 33 | 91,4 | 60 | 103,07 | 39,48 |
| 34 | 93,2 | 60 | 107,85 | 42,14 |
| 35 | 95 | 60 | 113,01 | 45,01 |
| 36 | 96,8 | 60 | 118,56 | 48,09 |
| 37 | 98,6 | 60 | 124,50 | 51,39 |
| 38 | 100.4 | 60 | 130.82 | 54.90 |
| 39 | 102.2 | 60 | 137.53 | 58.63 |
| 40 | 104 | 60 | 144.63 | |
| 41 | 105.8 | 60 | 152.11 | |
| 42 | 107.6 | 60 | 159.98 | |
| 43 | 109,4 | 60 | 168,24 | |
| 44 | 111,2 | 60 | 176,89 | |
| 45 | 113 | 60 | 185,92 | |

*Figure 3-10b Transformations de une température de l'air en °C (bleu) en un température équivalente selon le calcul HI (deux pages). Il faut noter que en dessous de 26°C les températures HI équivalentes ne montrent pas de cohérence physique, particulièrement avec des humidités importantes.*

consommation qui est 15% supérieure à celle de Riyad, même si cette dernière a la somme annuelle de DJR26ºC en Tªair supérieure à celle de Jeddah.

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mars | 21,1 | Mars | 65 | Mars | 207 | Mars | 0,21 |
| Avril | 59,4 | Avril | 32 | Avril | 255 | Avril | 0,42 |
| Mai | 224 | Mai | 1,25 | Mai | 440 | Mai | 0 |
| Juin | 400 | Juin | 0 | Juin | 616 | Juin | 0 |
| Juillet | 460 | Juillet | 0 | Juillet | 677 | Juillet | 0 |
| Août | 445 | Août | 0 | Août | 662 | Août | 0 |
| Septembre | 370 | Septembre | 0 | Septembre | 580 | Septembre | 0 |
| Octobre | 272 | Octobre | 0 | Octobre | 489 | Octobre | 0 |
| Novembre | 61,6 | Novembre | 21,2 | Novembre | 265 | Novembre | 0 |
| Décembre | 6,13 | Décembre | 120 | Décembre | 175 | Décembre | 4 |




| Tª (ºC) | Tª (ºF) | HR (%) | HI (ºF) | HI (ºC) |
|---|---|---|---|---|
| 19 | 66.2 | 70 | 74.10 | 23.39 |
| 20 | 68 | 70 | 73,75 | 23,20 |
| 21 | 69,8 | 70 | 73,86 | 23,25 |
| 22 | 71,6 | 70 | 74,41 | 23,56 |
| 23 | 73,4 | 70 | 75,41 | 24,12 |
| 24 | 75,2 | 70 | 76,87 | 24,93 |
| 25 | 77 | 70 | 78.77 | 25.98 |
| 26 | 78.8 | 70 | 81.12 | 27.29 |
| 27 | 80.6 | 70 | 83.92 | 28.85 |
| 28 | 82.4 | 70 | 87.18 | 30.65 |
| 29 | 84.2 | 70 | 90.88 | 32.71 |
| 30 | 86 | 70 | 95,03 | 35,02 |
| 31 | 87,8 | 70 | 99,63 | 37,57 |
| 32 | 89,6 | 70 | 104,68 | 40,38 |
| 33 | 91,4 | 70 | 110,18 | 43,43 |
| 34 | 93,2 | 70 | 116,12 | 46,74 |
| 35 | 95 | 70 | 122.52 | 50.29 |
| 36 | 96.8 | 70 | 129.37 | 54.09 |
| 37 | 98.6 | 70 | 136.67 | 58.15 |
| 38 | 100.4 | 70 | 144.41 | |
| 39 | 102.2 | 70 | 152.61 | |
| 40 | 104 | 70 | 161.26 | |
| 41 | 105,8 | 70 | 170,35 | |
| 42 | 107,6 | 70 | 179,90 | |
| 43 | 109,4 | 70 | 189,89 | |
| 44 | 111,2 | 70 | 200,33 | |
| 45 | 113 | 70 | 211,23 | |

| Tª (ºC) | Tª (ºF) | HR (%) | HI (ºF) | HI (ºC) |
|---|---|---|---|---|
| 19 | 66.2 | 80 | 69.98 | 21.10 |
| 20 | 68 | 80 | 70,14 | 21,19 |
| 21 | 69,8 | 80 | 70,80 | 21,56 |
| 22 | 71,6 | 80 | 71,98 | 22,21 |
| 23 | 73,4 | 80 | 73,67 | 23,15 |
| 24 | 75,2 | 80 | 75,87 | 24,37 |
| 25 | 77 | 80 | 78.57 | 25.87 |
| 26 | 78.8 | 80 | 81.79 | 27.66 |
| 27 | 80.6 | 80 | 85.52 | 29.73 |
| 28 | 82.4 | 80 | 89.75 | 32.09 |
| 29 | 84.2 | 80 | 94.50 | 34.72 |
| 30 | 86 | 80 | 99,76 | 37,64 |
| 31 | 87,8 | 80 | 105,52 | 40,85 |
| 32 | 89,6 | 80 | 111,80 | 44,33 |
| 33 | 91,4 | 80 | 118,58 | 48,10 |
| 34 | 93,2 | 80 | 125,88 | 52,16 |
| 35 | 95 | 80 | 133,68 | 56,49 |
| 36 | 96.8 | 80 | 142.00 | |
| 37 | 98.6 | 80 | 150.82 | |
| 38 | 100.4 | 80 | 160.16 | |
| 39 | 102.2 | 80 | 170.00 | |
| 40 | 104 | 80 | 180.35 | |
| 41 | 105,8 | 80 | 191,22 | |
| 42 | 107,6 | 80 | 202,59 | |
| 43 | 109,4 | 80 | 214,47 | |
| 44 | 111,2 | 80 | 226,87 | |
| 45 | 113 | 80 | 239,77 | |

| Tª (ºC) | Tª (ºF) | HR (%) | HI (ºF) | HI (ºC) |
|---|---|---|---|---|
| 19 | 66.2 | 90 | 64.44 | 18.02 |
| 20 | 68 | 90 | 65.32 | 18.51 |
| 21 | 69.8 | 90 | 66.76 | 19.31 |
| 22 | 71,6 | 90 | 68,76 | 20,42 |
| 23 | 73,4 | 90 | 71,34 | 21,85 |
| 24 | 75,2 | 90 | 74,48 | 23,60 |
| 25 | 77 | 90 | 78,19 | 25,66 |
| 26 | 78,8 | 90 | 82,47 | 28,04 |
| 27 | 80,6 | 90 | 87,31 | 30,73 |
| 28 | 82.4 | 90 | 92.72 | 33.74 |
| 29 | 84.2 | 90 | 98.70 | 37.06 |
| 30 | 86 | 90 | 105.25 | 40.69 |
| 31 | 87.8 | 90 | 112.36 | 44.65 |
| 32 | 89.6 | 90 | 120.05 | 48.91 |
| 33 | 91,4 | 90 | 128,29 | 53,50 |
| 34 | 93,2 | 90 | 137,11 | 58,39 |
| 35 | 95 | 90 | 146,49 | |
| 36 | 96,8 | 90 | 156,45 | |
| 37 | 98,6 | 90 | 166,96 | |
| 38 | 100.4 | 90 | 178.05 | |
| 39 | 102.2 | 90 | 189.70 | |
| 40 | 104 | 90 | 201.92 | |
| 41 | 105.8 | 90 | 214.71 | |
| 42 | 107.6 | 90 | 228.07 | |
| 43 | 109.4 | 90 | 241.99 | |
| 44 | 111,2 | 90 | 256.48 | |
| 45 | 113 | 90 | 271,54 | |

| Tª (ºC) | Tª (ºF) | HR (%) | HI (ºF) | HI (ºC) |
|---|---|---|---|---|
| 19 | 66.2 | 100 | 57.49 | 14.16 |
| 20 | 68 | 100 | 59.29 | 15.16 |
| 21 | 69.8 | 100 | 61.71 | 16.51 |
| 22 | 71.6 | 100 | 64.75 | 18.20 |
| 23 | 73,4 | 100 | 68,42 | 20,23 |
| 24 | 75,2 | 100 | 72,71 | 22,62 |
| 25 | 77 | 100 | 77,62 | 25,34 |
| 26 | 78,8 | 100 | 83,15 | 28,42 |
| 27 | 80.6 | 100 | 89,31 | 31,84 |
| 28 | 82.4 | 100 | 96.08 | 35.60 |
| 29 | 84.2 | 100 | 103.48 | 39.71 |
| 30 | 86 | 100 | 111.50 | 44.17 |
| 31 | 87.8 | 100 | 120.15 | 48.97 |
| 32 | 89.6 | 100 | 129.42 | 54.12 |
| 33 | 91.4 | 100 | 139.31 | |
| 34 | 93,2 | 100 | 149,82 | |
| 35 | 95 | 100 | 160,95 | |
| 36 | 96.8 | 100 | 172,71 | |
| 37 | 98,6 | 100 | 185,09 | |
| 38 | 100,4 | 100 | 198,09 | |
| 39 | 102.2 | 100 | 211.72 | |
| 40 | 104 | 100 | 225.97 | |
| 41 | 105.8 | 100 | 240.84 | |
| 42 | 107.6 | 100 | 256.33 | |
| 43 | 109.4 | 100 | 272.44 | |
| 44 | 111,2 | 100 | 289,18 | |
| 45 | 113 | 100 | 306,54 | |

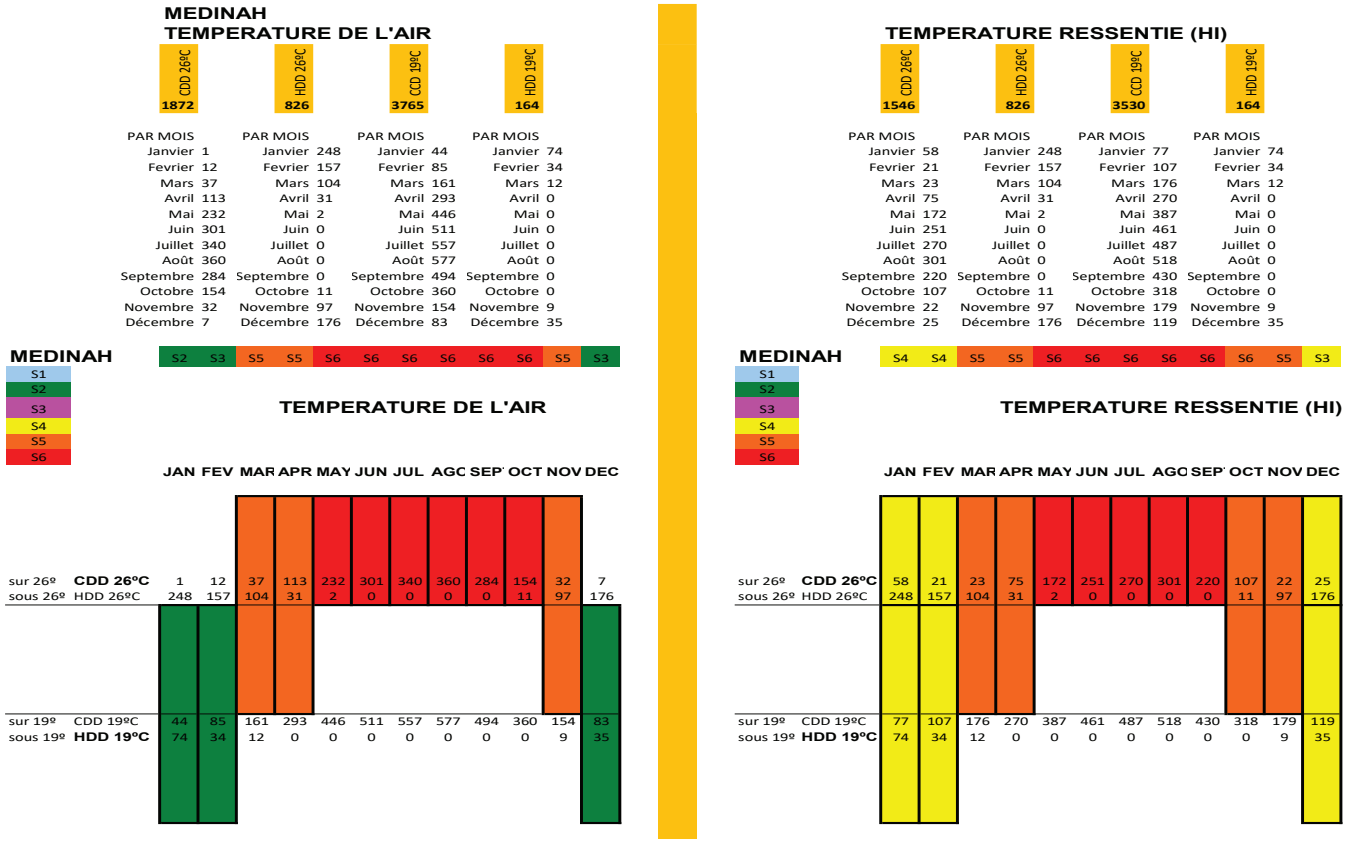



*Figure 3-11 Années climatiques de Médine avant et après la prise en compte de l'humidité relative par le Heat Index*

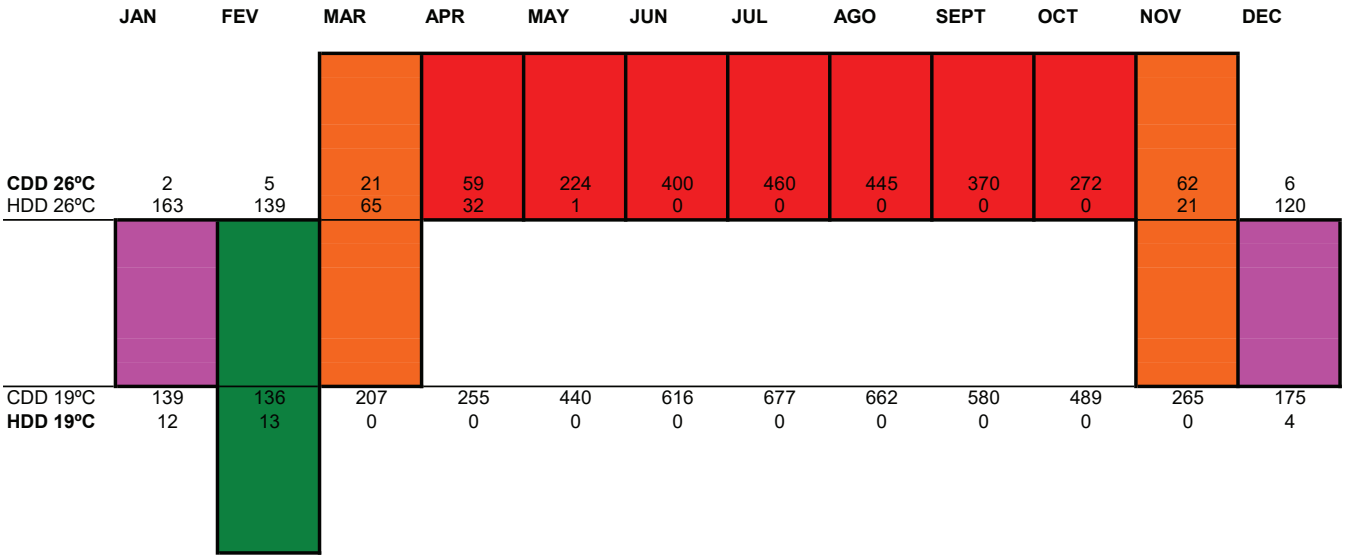



*Figure 3-12 Année climatique de Dubaï après la prise en compte de l'humidité relative par le Heat Index.*

## 3-4-8- Profil climatique pondéré avec la valeur des degrés jours

L'année étant caractérisée par une combinaison de saisons climatiques, n'intègre pas pour autant l'intensité de ces saisons et leur depassement en DJ au dessous et au-dessus des seuils de confort (figure 13a). Pourtant nous sommes intéressés par la prise en compte des intensités car elles auront une incidence certaine sur les consommations. Il est vrai qu'indépendamment que la température extérieure soit à 35ºC ou à 45ºC, notre réaction sera la même: s'isoler et couper tout contact thermique avec l'extérieur. Par contre, le long de l'année climatique il aura des saisons climatiques avec moins d'incidence sur la consommation que d'autres: il faudra donner préférence à des actions qui favorisent les économies d'énergie dans les saisons climatiques qui ont la plus grande influence sur l'année climatique d'un site.

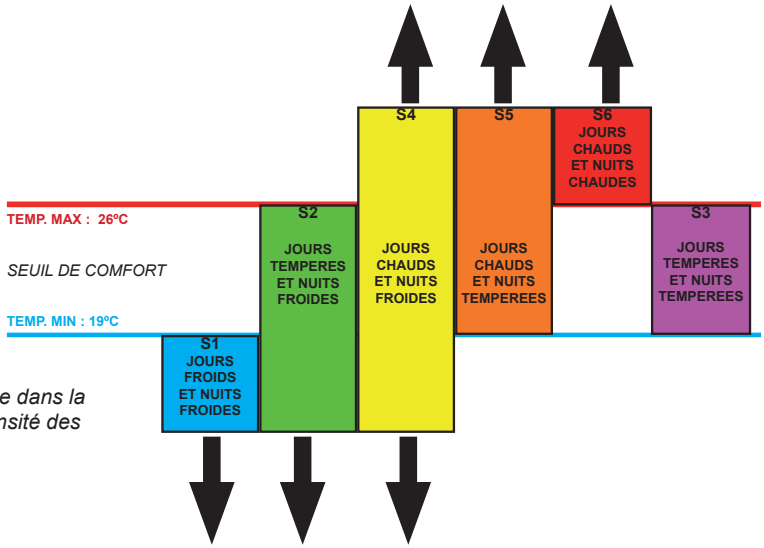



*Figure 3-13a Besoin de prendre en compte dans la classification par saisons thermiques, l'intensité des valeurs au-delà des seuils de confort.*

## 3-4-8-1- Méthode de pondération

Nous proposons un système de pondération qui se base sur le poids des DJ de chauffage ou refroidissement par type de saison :

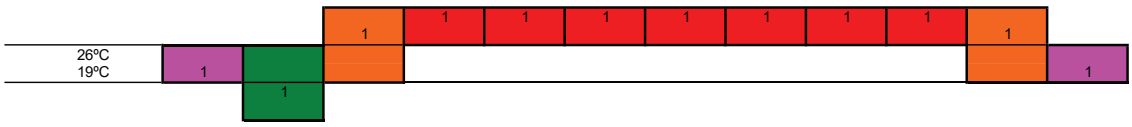
1- Une année climatique est caractérisée par les types de saisons climatiques et par l'intensité de ces saisons climatiques. Une année climatique de 12 mois aura une répartition des types de saisons climatiques, proportionnellement au nombre des mois associés aux différentes types de saisons climatiques.

2- Afin d'appliquer une pondération à l'année climatique, un tableau (Figure 3-13b) donne par type de saison climatique, de S1 à S6, les intensités exprimées par la somme des valeurs des DJ que nous avons précédemment définit par «stress thermique». Chaque mois exprime son stress thermique, STh, en faisant la somme des DJR du seuil supérieur, et des DJC du seuil inférieur :

*STh = DJR26°C + DJC19°C*

Le tableau de la Figure 3-13b, représente le classement par saisons thermiques du stress thermique de chaque mois de l'année dans un site particulier, dans notre exemple : Dubaï.

3- La ponderation est calculé comme le rapport entre la somme des valeurs du Stress Thermique par




| NON PONDERE | | NDERE DD | SOMME DD | JAN | FEV | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DEC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | DD | DD | DD | DD | DD | DD | DD | DD | DD | DD | DD | DD |
| S6 | **58,3%** | **94,7%** | 2231 | 0 | 0 | 0 | 60 | 224 | 400 | 460 | 445 | 370 | 272 | 0 | 0 |
| S5 | **16,7%** | **3,5%** | 83 | 0 | 0 | 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 62 | 0 |
| S4 | **0,0%** | **0,0%** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S3 | **16,7%** | **1,0%** | 23 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| S2 | **8,3%** | **0,8%** | 19 | 0 | 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S1 | **0,0%** | **0,0%** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

*Figure 3-13b Pondération par le Stress Thermique de l'année climatique de Dubaï (après la prise en compte de l'humidité relative par le Heat Index)*

| | *Valeur initiale* | *Valeur Ponderée* |
|---|---|---|
| S6 | **58,3%** | **94,7%** |
| S5 | **16,7%** | **3,5%** |
| S4 | **0,0%** | **0,0%** |
| S3 | **16,7%** | **1,0%** |
| S2 | **8,3%** | **0,8%** |
| S1 | **0,0%** | **0,0%** |

*Figure 3-14 Pourcentage de la présence annuelle de chaque saison thermique avant et après pondération avec les DJ.*

type de saison, et la somme totale du Stress Thermique annuelle. Ces nouveaux rapports vont caractériser une année par la saison climatique qui aura plus d'influence dans la consommation énergétique de la maison (Figure 3-14).

*Année Climatique Non pondéré*
*Année Climatique Pondèré*

*Figure 3-15 Pourcentage graphique de la présence annuelle de chaque saison thermique avant et après pondération avec les DJ.*

4- Suite à la pondération de l'année climatique nous nous rendons compte qu'en réalité l'influence de ce qui se passe pendant la saison 6 n'est pas de 58% mais de 95.5% (Figure 3-15). Ceci signifie que il faut, dans le cas de Dubaï, concevoir la maison pour être efficace surtout et presque totalement pendant une usage de la maison en mode journée type S6 : nous fermons de jour et de nuit la maison. Le reste des journées types ont une si faible incidence énergétique qu'elles peuvent inspirer le projet en usage mais pas en consommation.

## 3-4-8-2 Exemples d'application du principe de pondération à d'autres climats

Si nous répétons le même exercice sur différents climats les pondérations montrent que l'année climatique est «déformée» en fonction de la sévérité des DJ (Figures 3-16). Nous constatons que avec cette transformation l'identification des saisons climatiques clefs pour réduire la consommation énergétique ressort tout naturellement, car les extrêmes sont logiquement magnifiés par cette pondération, nous permettant une meilleure lisibilité des enjeux énergétiques dans la conception de la maison. Ainsi Paris montre clairement

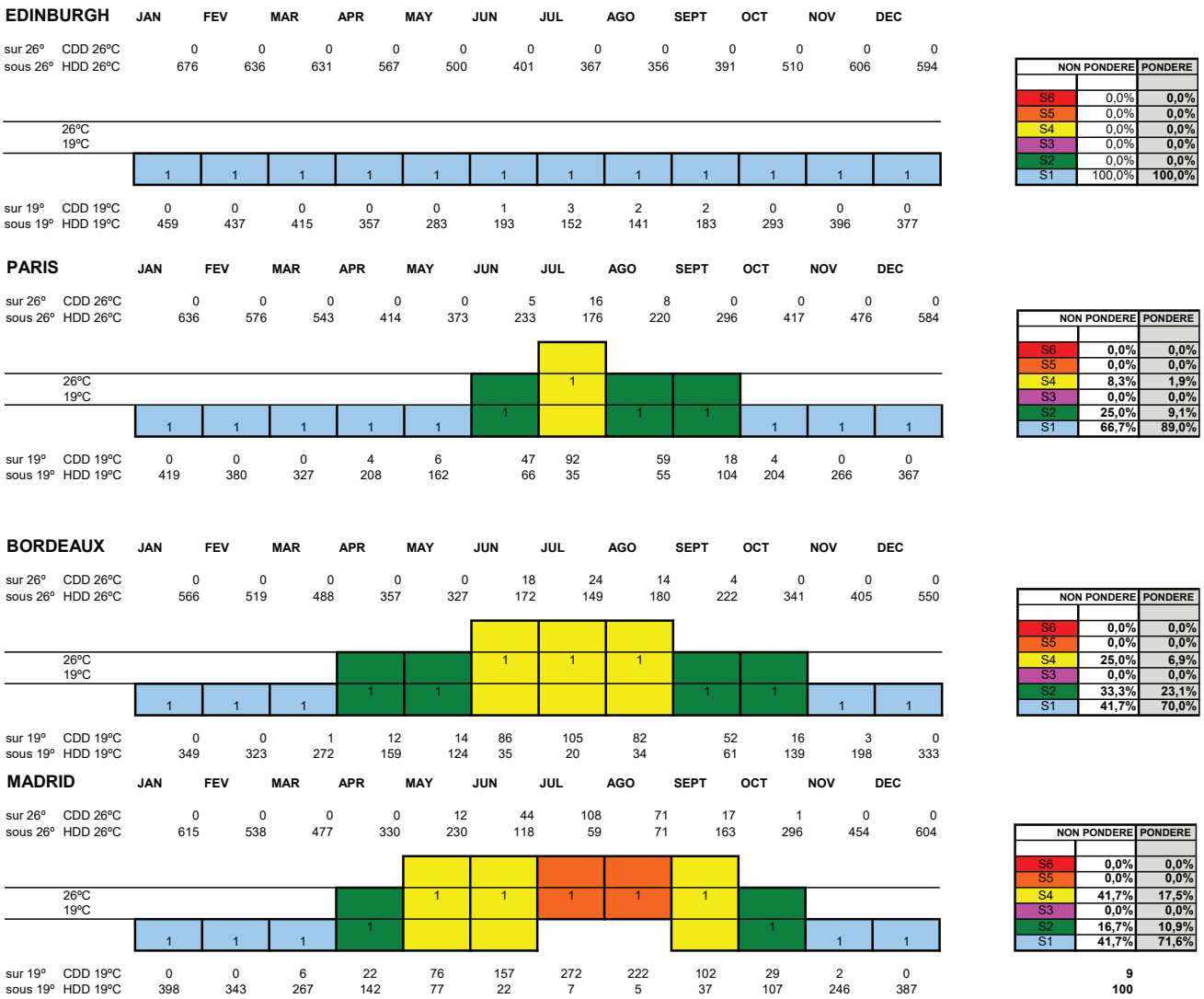
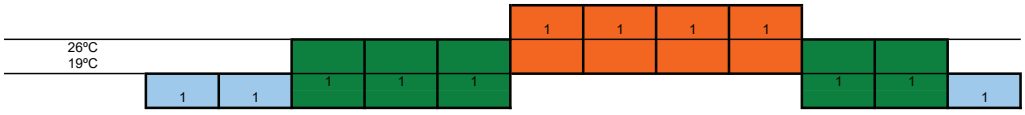



*Figure 3-16 Exemples de la variation du pourcentage de chaque saison thermique avant et après pondération des diverses villes dans le monde.*

**VALENCIA**

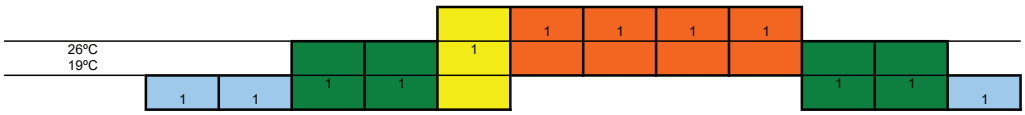
| | JAN | FEV | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DEC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| sur 26º CDD 26ºC | 0 | 0 | 1 | 1 | 8 | 21 | 55 | 48 | 23 | 6 | 0 | 0 |
| sous 26º HDD 26ºC | 451 | 392 | 376 | 267 | 179 | 85 | 32 | 23 | 87 | 186 | 324 | 454 |
| sur 19º CDD 19ºC | 2 | 3 | 14 | 28 | 74 | 151 | 240 | 242 | 152 | 70 | 12 | 1 |
| sous 19º HDD 19ºC | 236 | 199 | 172 | 85 | 28 | 5 | 0 | 0 | 6 | 33 | 126 | 238 |




| | NON PONDERE | PONDERE |
|---|---|---|
| S6 | 0,0% | 0,0% |
| S5 | 33,3% | 12,2% |
| S4 | 0,0% | 0,0% |
| S3 | 0,0% | 0,0% |
| S2 | 41,7% | 35,6% |
| S1 | 25,0% | 52,1% |

**SEVILLA**

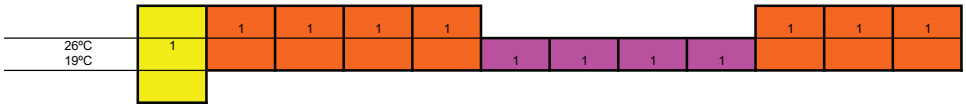
| | JAN | FEV | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DEC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| sur 26º CDD 26ºC | 0 | 0 | 1 | 4 | 35 | 54 | 99 | 84 | 21 | 6 | 0 | 1 |
| sous 26º HDD 26ºC | 478 | 411 | 362 | 240 | 142 | 92 | 57 | 60 | 113 | 183 | 323 | 450 |
| sur 19º CDD 19ºC | 0 | 0 | 18 | 47 | 136 | 179 | 260 | 243 | 126 | 71 | 13 | 3 |
| sous 19º HDD 19ºC | 261 | 215 | 162 | 73 | 27 | 8 | 1 | 1 | 7 | 30 | 126 | 235 |




| | NON PONDERE | PONDERE |
|---|---|---|
| S6 | 0,0% | 0,0% |
| S5 | 33,3% | 19,0% |
| S4 | 8,3% | 4,3% |
| S3 | 0,0% | 0,0% |
| S2 | 33,3% | 27,7% |
| S1 | 25,0% | 49,1% |

**YAOUNDE**

| | JAN | FEV | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DEC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| sur 26º CDD 26ºC | 34 | 41 | 33 | 32 | 25 | 8 | 6 | 5 | 9 | 14 | 20 | 26 |
| sous 26º HDD 26ºC | 102 | 50 | 65 | 69 | 78 | 91 | 101 | 99 | 97 | 96 | 86 | 106 |
| sur 19º CDD 19ºC | 163 | 190 | 185 | 173 | 164 | 128 | 122 | 124 | 121 | 136 | 144 | 144 |
| sous 19º HDD 19ºC | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 |




| | NON PONDERE | PONDERE |
|---|---|---|
| S6 | 0,0% | 0,0% |
| S5 | 58,3% | 72,3% |
| S4 | 8,3% | 17,5% |
| S3 | 33,3% | 10,2% |
| S2 | 0,0% | 0,0% |
| S1 | 0,0% | 0,0% |

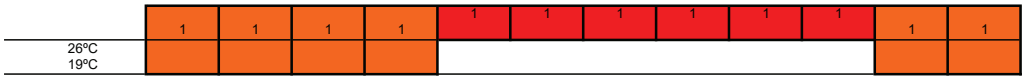
**RIYAHD**

| | JAN | FEV | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DEC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| sur 26º CDD 26ºC | 1 | 6 | 22 | 102 | 218 | 272 | 327 | 326 | 223 | 123 | 10 | 0 |
| sous 26º HDD 26ºC | 374 | 248 | 136 | 52 | 6 | 0 | 0 | 0 | 5 | 21 | 180 | 325 |
| sur 19º CDD 19ºC | 20 | 48 | 126 | 265 | 429 | 481 | 544 | 542 | 429 | 319 | 82 | 23 |
| sous 19º HDD 19ºC | 175 | 93 | 23 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 42 | 131 |

| | NON PONDERE | PONDERE |
|---|---|---|
| S6 | 41,7% | 65,0% |
| S5 | 16,7% | 11,0% |
| S4 | 8,3% | 2,1% |
| S3 | 0,0% | 0,0% |
| S2 | 33,3% | 21,8% |
| S1 | 0,0% | 0,0% |

**DJEDDAH**

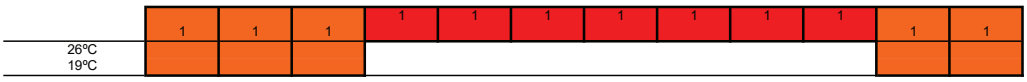
| | JAN | FEV | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DEC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| sur 26º CDD 26ºC | 21 | 28 | 61 | 99 | 159 | 177 | 240 | 261 | 198 | 154 | 76 | 35 |
| sous 26º HDD 26ºC | 74 | 48 | 28 | 12 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 14 | 40 |
| sur 19º CDD 19ºC | 168 | 178 | 250 | 297 | 375 | 387 | 457 | 478 | 408 | 371 | 273 | 212 |
| sous 19º HDD 19ºC | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |




| | NON PONDERE | PONDERE |
|---|---|---|
| S6 | 50,0% | 78,6% |
| S5 | 50,0% | 21,4% |
| S4 | 0,0% | 0,0% |
| S3 | 0,0% | 0,0% |
| S2 | 0,0% | 0,0% |
| S1 | 0,0% | 0,0% |

**MAKKAH**

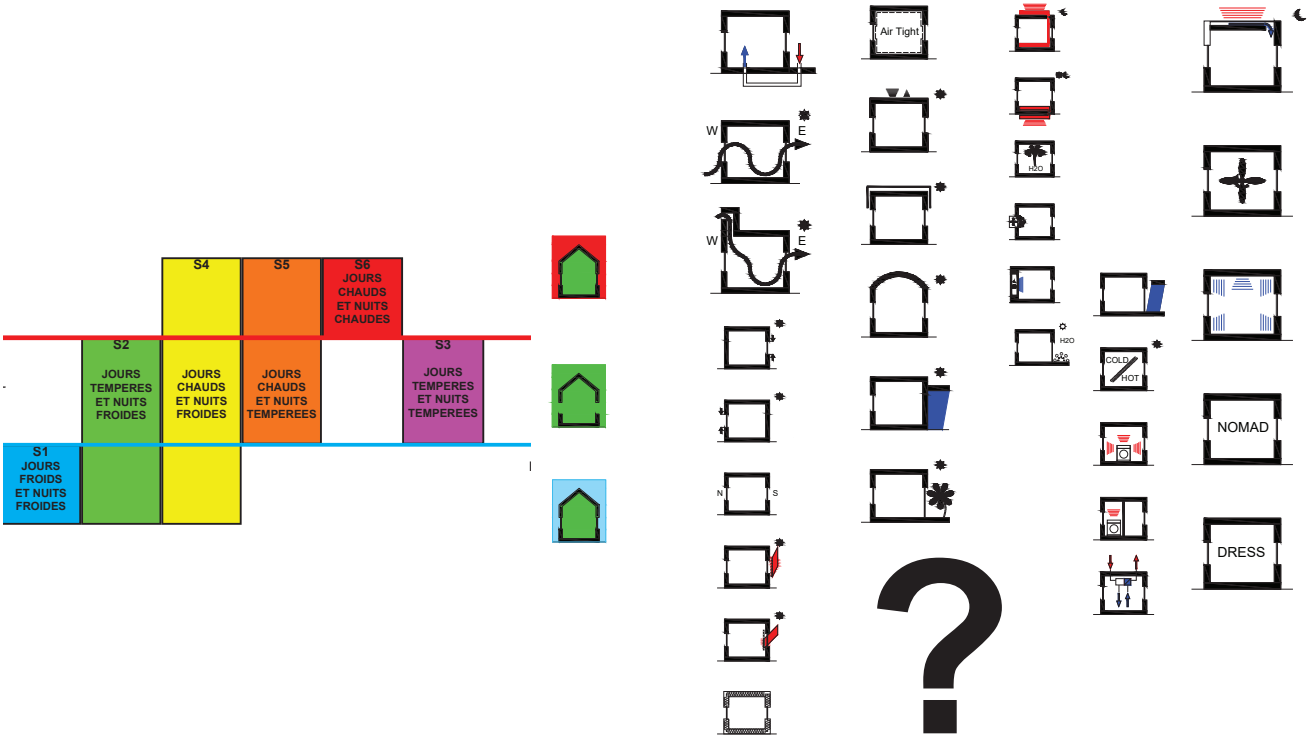
| | JAN | FEV | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DEC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| sur 26º CDD 26ºC | 44 | 59 | 115 | 182 | 271 | 308 | 340 | 338 | 290 | 221 | 104 | 52 |
| sous 26º HDD 26ºC | 72 | 44 | 18 | 8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 | 44 |
| sur 19º CDD 19ºC | 192 | 212 | 314 | 384 | 488 | 518 | 557 | 555 | 499 | 438 | 300 | 225 |
| sous 19º HDD 19ºC | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |




| | NON PONDERE | PONDERE |
|---|---|---|
| S6 | 58,3% | 83,8% |
| S5 | 41,7% | 16,2% |
| S4 | 0,0% | 0,0% |
| S3 | 0,0% | 0,0% |
| S2 | 0,0% | 0,0% |
| S1 | 0,0% | 0,0% |

(89%) l'influence de S1 dans les consommations, et des villes classiquement identifiées comme tempérées, Sevilla et Valencia, montrent dans les pondérations que les saisons froides exercent un stress thermique plus important, avec une présence de S1+S2 de 77% (Seville) et 87% (Valence) et de S5+S6 de 19% (Seville) et de 12% (Valence).

## 3-5-4 Stratégies climatiques en fonction de la saison thermique : Les actions architecturales, les groupes d'actions, et les axes stratégiques




Une fois classé le site du futur projet en saisons thermiques pondérées, nous devons associer des axes stratégiques (Figure 3-17). Quelles seraient les actions architecturales les plus adéquates par situation climatique ou encore mieux par saison climatique? Sommes nous en mesure de procéder a cette association Saisons-Actions ?

La réponse est que nous n'avons pas encore des éléments qui nous permettent de faire cette association. Nous pouvons cependant faire des hypothèses de distribution des actions en fonction du caractère des situations thermiques à partir de notre expérience en France et de la littérature scientifique disponible des nouveaux axes stratégiques pour climat froid (S1) afin de compléter le schéma et de proposer une méthode

**«trop chaud pour ouvrir»**

Ce sont des situations où la température de l'air extérieur est trop élevée pour profiter de la ventilation naturelle, et dehors nous ne nous sentons pas à l'aise. Ainsi il faut se protéger à l'intérieur de la maison de la chaleur extérieure (axe 1), minimiser la chaleur résiduelle (axe 2), évacuer la chaleur par radiation (axe 3), réduire des sources de chaleur en périphérie (axe 5), organiser nos habitudes pour mieux faire face à la chaleur par des vêtements, usage stratégique des pièces (axe 6), et finalement lorsque tout est fait contre la chaleur et la température reste inconfortable, il faut concevoir de la production de froid (axe 4) passive. En dernière instance nous utiliserons la climatisation.

**«bon pour ouvrir»**

Ce sont des situations où l'air extérieur est agréable et peut permettre le rafraîchissement par ventilation naturelle et par évapotranspiration. Dans ces situations proches des seuils de confort la stratégie la plus efficace est l'évacuation et la captation convective de la chaleur par la ventilation naturelle ou forcée avec l'extérieur (axe 3) et celle d'organiser nos habitudes pour améliorer le confort dans l'usage de la maison (axe 6). Nous pouvons aussi rafraîchir les espaces extérieurs pour une ventilation naturelle plus efficace contre la chaleur (axe 5).

**«trop froid pour ouvrir»**

Ce sont des situations similaires au climat trop chaud où l'air extérieur est trop inconfortable, froid cette fois ci, pour profiter de la ventilation naturelle, et dehors nous ne nous sentons pas à l'aise. Ainsi il faut se protéger a l'intérieur de la maison du froid externe (axe 1-froid), profiter la chaleur résiduelle (axe 2-froid), évacuer le moins de chaleur possible, et capter la radiation solaire pendant les heures d'ensoleillement (axe 3-froid), organiser nos habitudes pour mieux faire face au froid grâce aux vêtements, usage des pièces en fonction de leur température (axe 6-froid), et finalement lorsque tout est fait contre le froid et la température reste inconfortable, il faut concevoir de la production de chaleur (axe 4-froid).

plus globale pour tous les climats. Les actions de «maison fermée» sont les actions habituelles d'une stratégie de maison «statique» (voir chapitre 3-2-1) alors que les actions associées à la situation «maison ouverte» ce sont des stratégies de évacuation et de recharge thermique «dynamique» liées à la ventilation naturelle et à la masse thermique du bâtiment :

Avec ces trois récits qui ne sont pour l'instant que des hypothèses de stratégies de conception dans ce types de situation de la maison, nous pouvons proposer une distribution d'action en nous appuyant sur les axes de groupement des actions afin de rendre la méthode plus lisible.

Cette première méthode est séparée selon les trois situations, fermée à cause du froid, ouverte, et fermée à cause du chaud.

La situation fermée à cause du chaud regroupe des groupes d'actions qui rejettent l'extérieur, réduisent la chaleur intérieure, apaisent la température extérieure et déchargent thermiquement par radiation nocturne. La situation ouverte doit privilégier toutes les actions en rapport avec la circulation transversale : évacuation ou

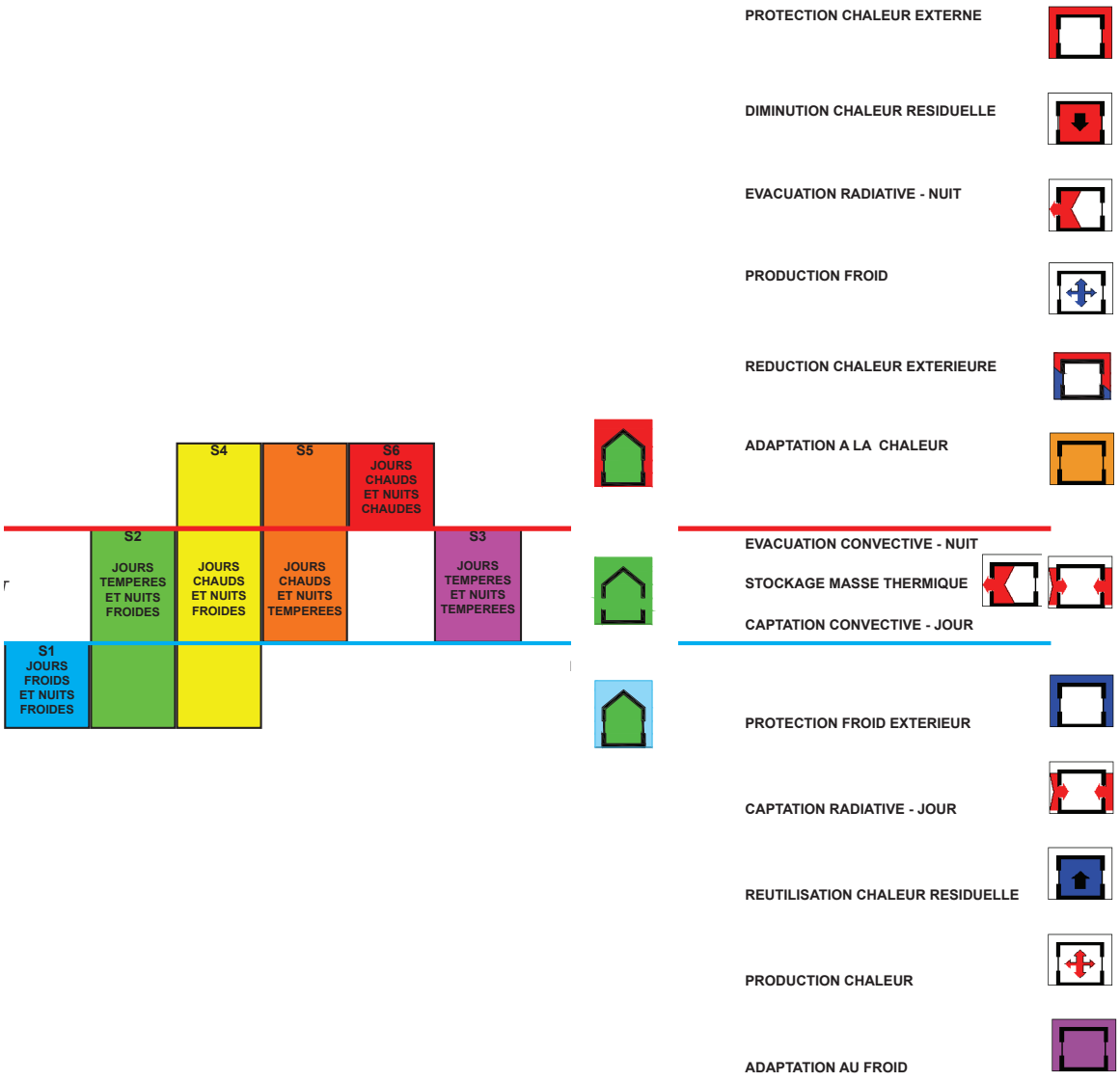



*Figure 3-17 Association des principaux axes stratégiques de conception en fonction des saisons thermiques et des situations journalières*

captation thermique couplée avec les actions de masse thermique. La situation fermée à cause du froid elle rejette aussi l'extérieur mais les actions en rapport avec les radiations solaires sont radicalement différentes : augmentation des dimensions des fenêtres, suppression des masques solaires, et production de chaleur interne (Figure 3-17).

La proposition de ce schéma est une première hypothèse d'une stratégique thermique en climat chaud très inspirée des proposition des experts (chapitre 2). Dans les chapitres suivants nous évaluerons les actions qui ont une influence sur chacune des journées types avec un modèle thermique et des modélisations thermique-dynamiques. Nous vérifierons en suite si cette hypothèse est valide ou pas.

# 4 Étude approfondie par action architecturale

Il est sûr qu'un concepteur visant un projet bioclimatique a devant lui (ou elle) tout un choix de mesures à inclure dans le projet. Nous avions déjà proposé d'appeler ces choix, ou mesures, des «actions architecturales». La littérature scientifique et l'architecture vernaculaire et récente nous montrait des nombreux exemples de ces actions (chapitres 1,2 et 3). Ces actions sont les choix de conception possibles compte tenu du contexte, fournisseurs, technologie.. . En fonction du profile climatique du site du projet, le concepteur doit décider quelle stratégie mettre en place et avec quelles actions architecturales.

Afin de connaître l'influence de chaque action séparément et pouvoir quantifier les économies d'énergie qu'implique qu'un architecte décide de mettre en place une action architecturale, nous allons produire des fiches, une fiche par action, qui va évaluer l'économie d'énergie générée par la variation de la magnitude de l'action. Pour illustrer le principe, les fiches vont devoir répondre aux questions habituelles d'un architecte comme «si je réduit de 20% les ouvertures de la maison, de combien réduis-je sa consommation énergétique?», ou «si je installe une VMC double flux, de combien cela coûte et quelles économies annuelles dans la facture de l'électricité liées a cette mesure?».

Les valeurs analysées seront des valeurs relatives entre avant et après les modifications. Elles seront financières : les économies dans la facture électrique ou le coût de construction avant et après, et énergétiques : consommation avant et après. Car même si les résultas de la simulation sont fiables, les contextes possibles sont tellement différents que nous attendons des valeurs absolus peu fiables. Cependant indépendamment des valeurs absolues, ce qui nous intéresse sont les pourcentages des variations de consommation énergétique par action et des variations des coût par action. Ces valeurs seront beaucoup plus fiables car ils ont une grande indépendance par rapport aux valeurs absolues initiales. Pour évaluer l'influence des actions architecturales nous allons créer un modèle numérique basée sur un logement typologie maison individuelle (Figure 4-1).

Nous ferons des simulations thermique-dynamiques avec le logiciel Design Builder/Energy + pour un modèle de base initiale et en suite pour toutes les variantes, une à une, qui représenteront les choix de conception des actions architecturales. Afin de hiérarchiser ces actions architecturales, nous analyserons les économies dues au gain énergétique fait par chaque action mais aussi le surcoût entraîné par ces actions architecturales dans la construction et leur mise en oeuvre. Mettant en rapport ces économies financières avec le surcoût de construction nous pourrons connaître le temps de retour par action. Cette évaluation sera directement influencée par la tarif électrique considérée qui devra s'adapter aussi au contexte locale mais aussi à des hypothèses d'évolution tarifaires temporelles.

## 4-1- Informations générales sur le climat du site

Si nous nous mettons dans le rôle d'un architecte ou un maître d'ouvrage voulant construire dans une ville lointaine au climat chaud, sans connaissances techniques très approfondies sur la conception bioclimatique de basse consommation, nous devons essayer de simplifier les raisonnements. Cependant il semble évident que pour concevoir convenablement une maison ou un bâtiment tout architecte même inexpert doit se poser certaines questions sur le contexte :

- l'emplacement de son ouvrage et son contexte urbain/peri-urbain/rural
- les caractéristiques climatiques sommaires du lieu via le ressenti, le savoir commun sur les lieux, du

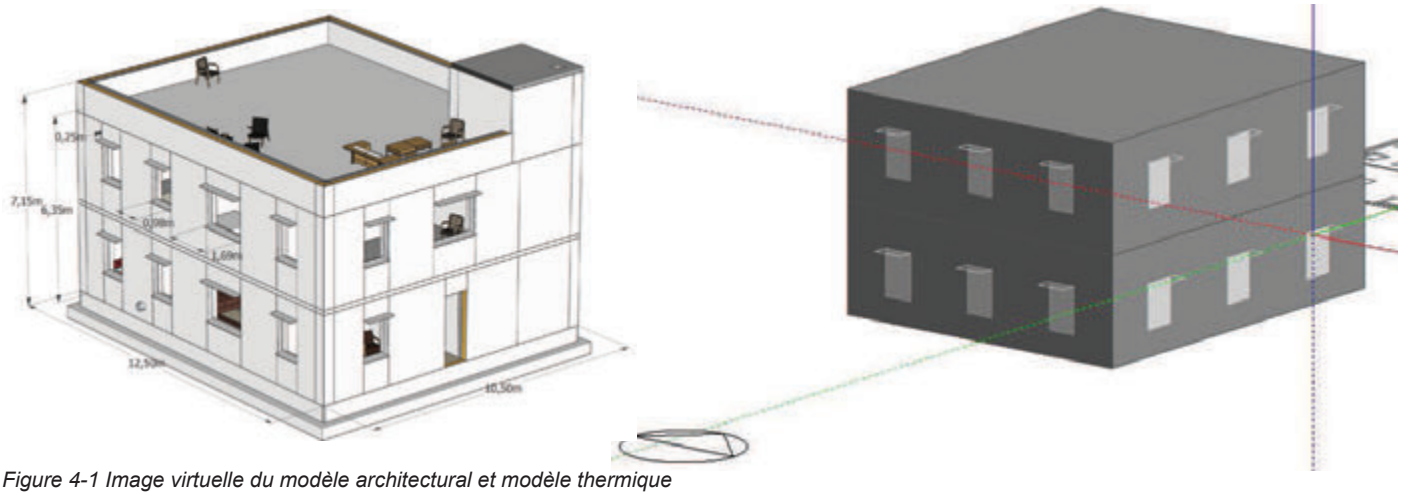


*Figure 4-1 Image virtuelle du modèle architectural et modèle thermique*

ETE

HIVER

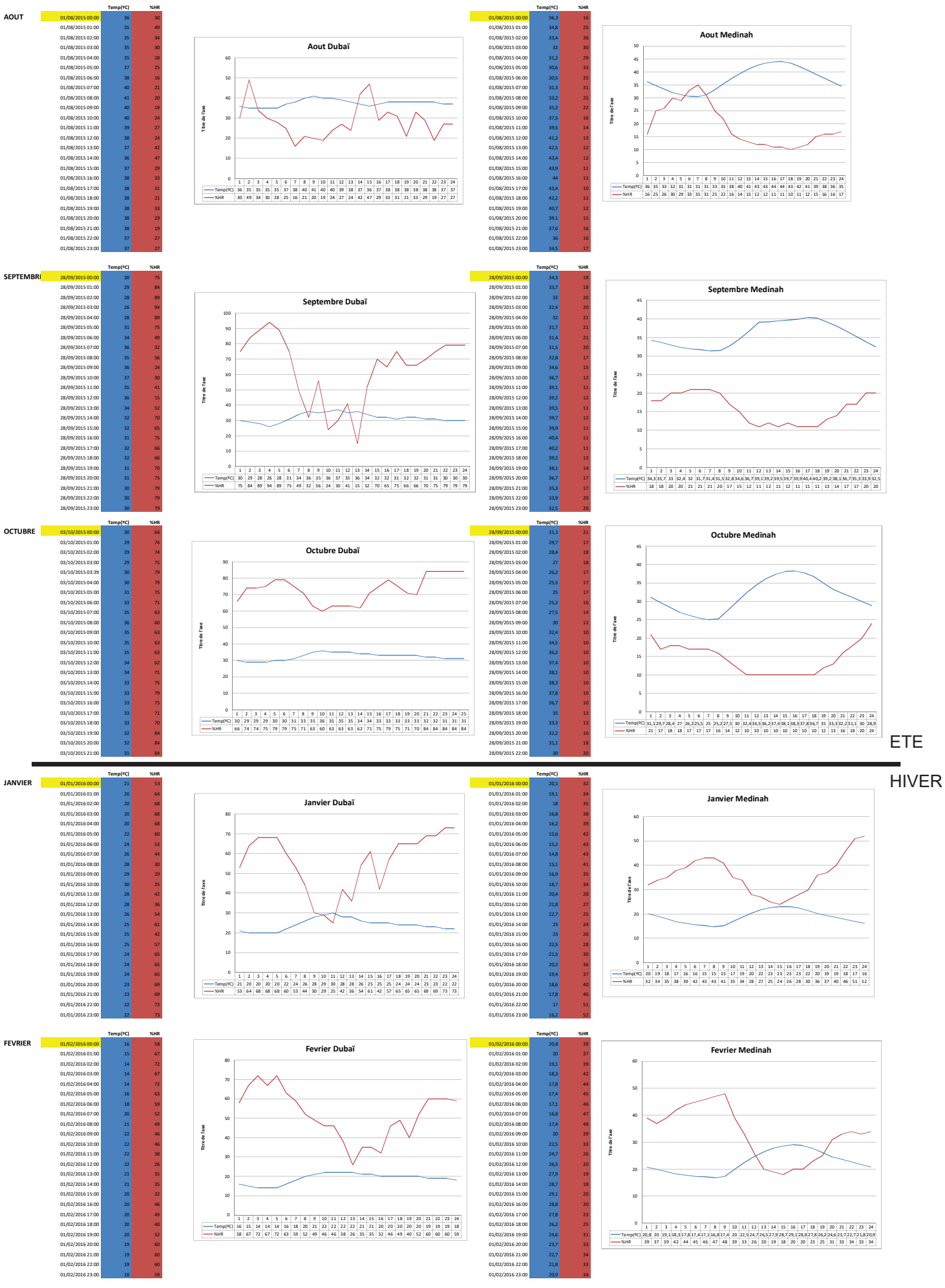



*Figure 4-2 Étude des variations de température et humidité relative d'une journée des mois chauds et froids à Dubaï et Médine*

type « il fait très chaud en été ( ou pas), les nuits en été sont supportables (ou pas), en hiver le soir il fait froid ( ou pas )… »

- les caractéristiques des maisons environnantes.
- le niveau de confort attendu par ses clients
- l'orientation idéale en fonction de la lumière et de l'inconfort visuel

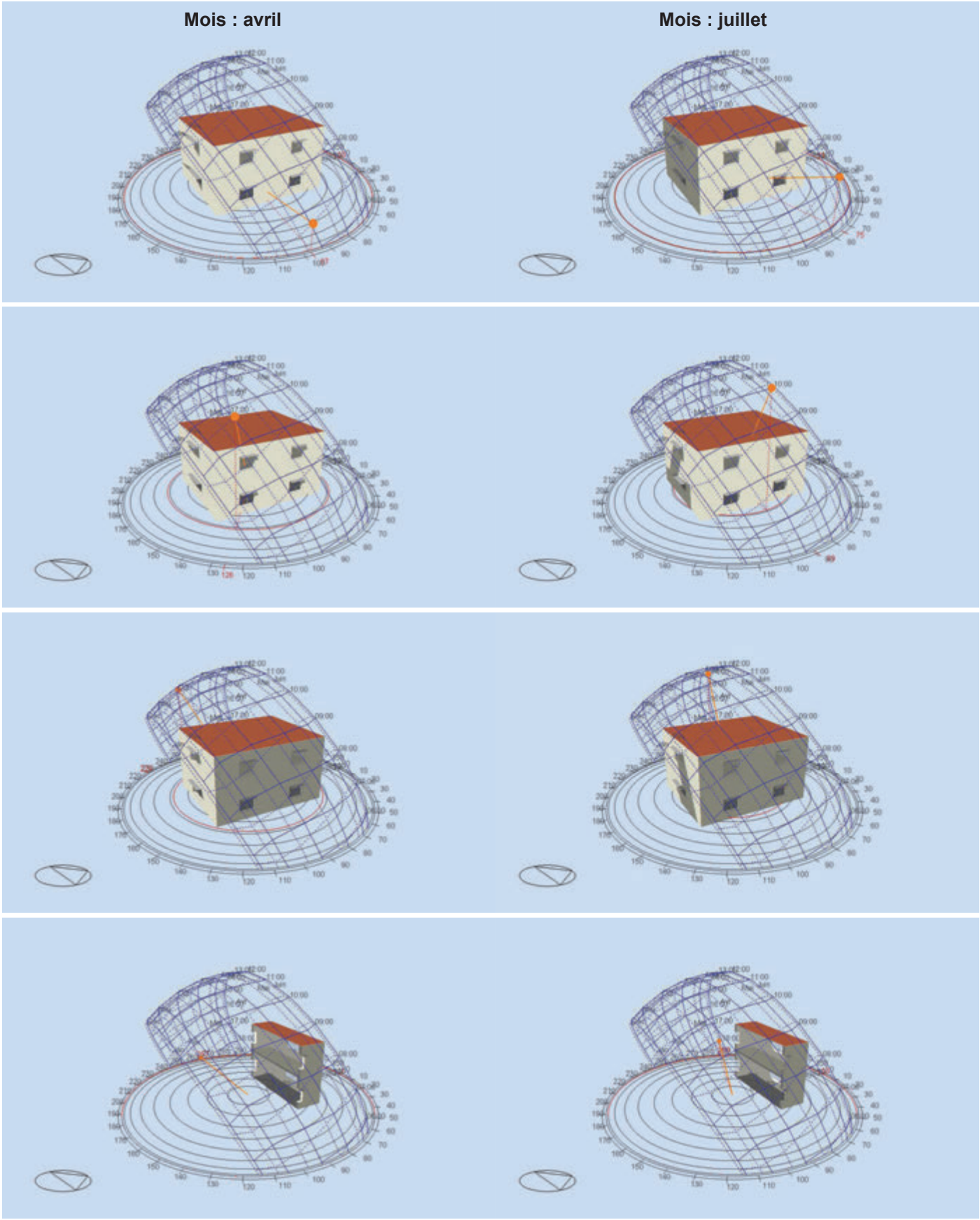



*Figure 4-3 Étude des diagrammes solaires pour Dubaï en deux journées des mois d'avril et juillet*

Hélas très souvent il, ou elle, n'y ira pas plus loin dans ses requêtes : ce sera à partir de ces informations qu'il commencera l'esquisse de son projet. Une fois que l'esquisse produite, cela devient très compliqué de modifier le projet. Si le climat n'est pas abordé de façon plus précise, le concepteur risque de passer à côté des spécificités climatiques du lieu du projet qui permettraient de mettre en place une stratégie bioclimatique cohérente. Une des raisons qui empêchent un analyse climatique approfondie est l'accès à l'information climatique complète. Même une fois cette information obtenue, la multitude des données fournies dans une étude climatique approfondie risquent de brouiller les informations importantes pour la conception. Il y à besoin d'hiérarchiser les informations climatiques et les rendre accessible à tous.

## 4-1-1- Analyse des paramètres climatiques significatifs de Dubaï

### 4-1-1-1 Les températures et ses variations annuelles et journalières

En parallèle des modélisations il est nécessaire de maîtriser les nuances du climat d'un site et notamment s'il se trouve dans un climat dits «très chauds». Ces nuances concernent les variations journalières de température et d'humidité relative car en fonction de sa proximité a la côte et aux vents marins les villes se comportent très différemment. A Dubaï, les températures en période estivale sont très élevées arrivant à des moyennes maximales de 48ºC (aéroport international de Dubaï) et restant souvent au-dessus de 30ºC la nuit. Cependant en hiver les températures chutent et restent très confortables pouvant descendre à 10ºC à certains moments de la nuit. La variation journalière des températures maximales et minimales est d'environs 10ºC de température du bulbe sec. Si nous prenons l'exemple d'une ville au climat très chaud mais plutôt sec comme Médine, on constate que les températures se ressemblent beaucoup : l'été les températures sont aussi très élevées dépassant souvent 46ºC (aéroport locale de Médine) et restent toujours au-dessus de 27ºC la nuit. Cependant en hiver les températures chutent et restent très confortables pouvant descendre à 8ºC pendant quelques heures nocturnes en janvier. La variation journalière des températures maximales et minimales est d'environs 13ºC de température du bulbe sec. En dehors de la saison d'été, les espaces extérieurs sont appropriables dans l'habitat et ils restent confortables à l'usage quotidien.

### 4-1-1-2 L'humidité relative (%HR) et ses variations annuelles et journalières

La grande différence entre le climat de Dubaï et Médine est l'humidité relative et particulièrement durant l'été. Pour montrer cette différence nous avons analysé les valeurs de température et humidité relative d'une journée type à Dubaï et à Médine dans les mois de Juillet, Août, Septembre, Octobre, Janvier et Février (Figure 4-2).

Dubaï a des variations de HR allant de 100% à 4%. Nous pourrions le classer de « très chaud et humide », il en ressort clairement que :

1- les seuils de confort HR>80% sont dépassés à Dubaï le plus souvent pendant les mois humides : Janvier, Février, Septembre et Octobre,

2- les records en %HR se produisent systématiquement

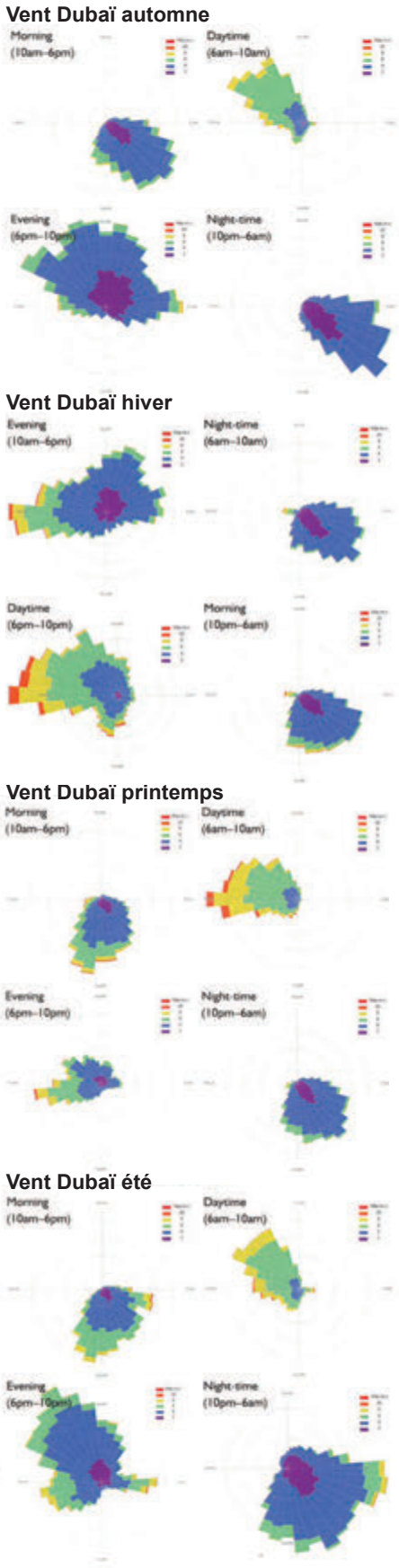



*Figure 4-4 Étude des vents a Dubaï en été, automne, hiver et printemps. Source: CIBSE*

pendant les heures de nuit et ceci dans les mois de Septembre, Octobre, Janvier et Février.

3- la journée d'été la plus humide est le 27 septembre et l'humidité relative varie entre 100% à 3h00 du matin et 36% à 10h00

4- la journée d'hiver la plus humide est le 23 Janvier et l'humidité relative varie entre 100% à 3h00 du matin et 47% à 9h00

5- pendant les mois chauds, Septembre et Octobre, ces situations se produisent sous des températures sèches de l'air largement au-dessus du seuil de confort de 26ºC. La ventilation transversale ne peut pas être envisagée à cause des températures élevées avec une grande humidité relative.

6- pendant les mois froids, Janvier et Février, des valeurs importants d'humidité relative se produisent sous des températures au-dessous de 19ºC. Les valeurs importantes d'humidité relative se produisent pendant les heures ou la maison n'as pas besoin de s'ouvrir à l'extérieur à cause des basses températures.

7- les records de sécheresse se produisent pendant les heures de la mi-journée et toujours sous des températures élevées. Les valeurs les plus extrêmes sont de 4% et apparaissent pendant les heures les plus chaudes des mois de printemps et été.

Médine (Figure 4-2), réputée pour d'avoir un climat beaucoup plus sec que Dubaï, que nous pourrions le classifier de « très chaud et sec » a les caractéristiques suivantes :

1- les seuils de confort HR>80% ne sont jamais dépassés.

2- les records en humidité relative haute se produisent systématiquement pendant les heures de nuit et ceci dans les mois de Décembre et Janvier.

3-en 2005 la journée d'été la plus humide est le 23 Octobre et l'humidité relative varie entre 43% à 6h00 du matin et 14% à 15h00

4- la journée d'hiver la plus humide est le 23 Décembre et l'humidité varie entre 47% à 7h00 du matin et 31% à 13h00

5- pendant les mois chauds, Juillet et Août, les humidités relatives sont très basses, ne dépassant que rarement la barre des 30%. Pendant la journée sous les hautes températures de l'été, les humidités descendent aussi bas que 10%.

6- pendant les mois froids, l'humidité relative reste dans la plupart des cas à des valeurs très confortables, entre 50% et 30%.

7- les records de sécheresse se produisent pendant les heures de la mi-journée , souvent pendant la deuxième partie de la journée. Ces valeurs proches de 10% sont atteintes dans tous les mois de l'année et pas qu'en été comme c'était le cas de Dubaï.

Dans les deux cas et de manière générale pendant n'importe quelle journée de l'année, pendant les heures où la température ambiante est la plus élevée, l'humidité relative est la plus basse et vice-versa.

### 4-1-1-3 La radiation solaire

La radiation solaire est caractérisée par une intensité très importante pendant les mois d'été car le soleil est pratiquement vertical et de ce fait les débords et les brises-soleil horizontaux sont très efficaces en façade Sud. Cependant les façades Est et Ouest sont très difficiles à traiter car elles reçoivent les rayons du soleil dès le lever du jour et jusqu'au coucher avec une direction très horizontale dans les moments extrêmes, lever et coucher. La façade Nord n'est pas épargnée car pendant l'été même les orientations nord reçoivent la radiation solaire pendant quelques heures le matin et le soir (Figure 4-3).

### 4-1-1-4 Le vent

Le vent est aussi un paramètre important de caractérisation climatique car les ouvertures et l'existance de courants transversaux dans les stratégies de décharge thermique sera fonction du potentiel de vent. Dans le cas de Dubaï (Figure 4-4), les vents varient le long de l'année entre 2 et 40 km/h avec une prédominance de présence de 18 km/h à 7 km/h. Les vents peuvent se produire pour des raisons diverses, mais nous pouvons en distinguer deux types afin de simplifier les phénomènes : les vent cycloniques, produits par les phénomènes météo régionaux, et les phénomènes thermiques qui sont les plus réguliers dans les journées où le soleil commence à chauffer les masses de terre et d'eau. Ainsi dans des villes dites humides, et donc proches de la mer, les vents sont toujours présents avec des vitesses du vent qui montent jusqu'au 35 km/h par la composante thermique qui commence en début de l'après-midi et qui disparaît généralement au coucher du soleil avec une chute de vitesse en fin de journée a entre 5 km/h et 10 km/h. Le vent à Médine est beaucoup plus calme du fait du faible gradient de températures entre la ville et les alentours : tout se refroidit ou se réchauffe en même temps donc pas de vent thermique important.

### 4-1-1-5 Les précipitations

Les précipitations à Dubaï et à Médine sont rares et elles se concentrent entre les mois de Décembre et Mars. Les précipitations annuelles ne dépassent pas les 100 mm en moyenne. L'intensité prise en compte pour le dimensionnement des toitures et des évacuations est typiquement de 75 mm/h.

## 4-2- La modélisation

### 4-2-1- Fichier météo et choix des dates représentatives des journées types

Le fichier météo du modèle Design Builder/Energy+ est celui fournit par E+ qui correspond à une combinaison de lieux proches de Dubaï mais dont les données ne sont pas toujours celle de la ville étudiée. Dans notre cas la météo utilisée est celle de Abu Dhabi, ville côtière à 60 km de Dubaï. Ainsi toutes les incidences des inclinaisons solaires et d'intensité du rayonnement correspondent à la ville de Dubaï mais les valeurs de température horaire, humidité relative et vent correspondent à la ville de Abu Dhabi (Figure 4-5c). Les valeurs présentées dans la Figure 5-1 montrent les moyennes journalières. Les valeurs de 37ºC de certains pics pendant le mois d'août montrent que la température maximale journalière à dû largement dépasser les 40ºC pour qu'avec la température de la nuit, proche de 30ºC, elles puissent donner une telle moyenne. Nous remarquerons aussi la température du point de rosée, supérieure à 20ºC commence à être inconfortable (chapitre 1). Le vent (Figures 4-4 et 5-2) reste stable à une vitesse de 3,5 m/s de moyenne avec des pics atteignant 10 m/s, les valeurs moyennes sont légèrement en hausse au début de l'été. La direction du vent alterne entre le NNO (300º) et SSE (120º). Nous observons aussi que la couverture nuageuse est importante entre Novembre et Avril, et les ciels sont très clairs le reste de l'année. Pour paramétrer la température du sol, nous avons utilisé des outils informatiques proposés par la Passivhaus Institut, et notamment un logiciel en ligne, http://klimadaten.passiv.de (Figure 4-5a) , qui permet d'estimer les températures de l'air sec et du point de rosée, et intensité de la radiation solaire, en fonction de ses coordonnes (latitude et longitude). Ces données permettent de les introduire dans le logiciel PHPP qui est possible de donner en retour les températures du sol en surface (Figure 4-5b). Ce sont ces températures du sol que nous avons introduites dans les valeurs de Design Builder comme la valeur de la température en surface du sol.

Nous allons choisir plusieurs jours caractéristiques et représentatifs des saisons climatiques et nous soumettrons nos modèles numériques à une période type de 24h (avec une pre-chauffement de la maison de 20 jours). La maison Base et toutes les variantes modifiées suivant les différentes actions architecturales seront

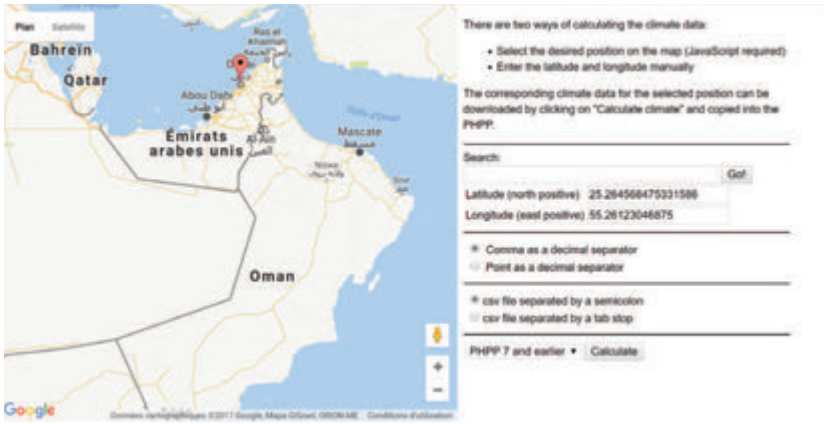
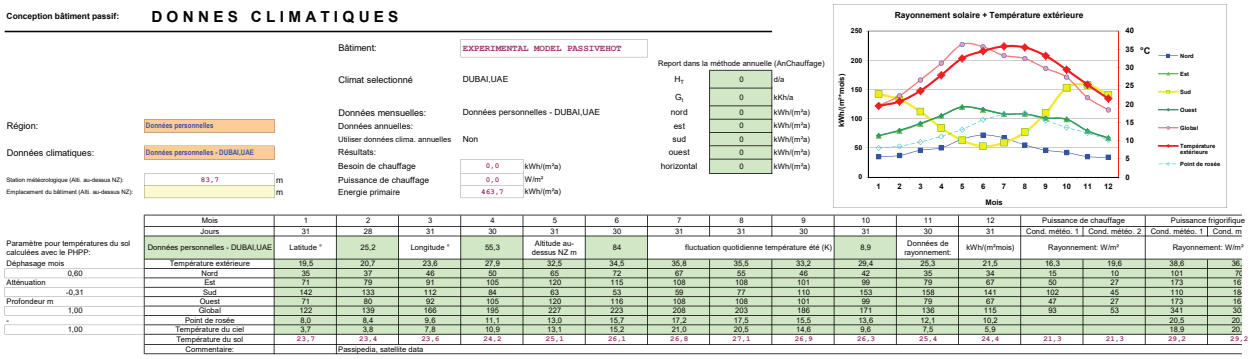


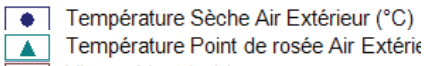

*Figure 4-5a*
*Capture d'écran sur le site http://klimadaten.passiv.de proposé par la Passivhaus Institut. Ce site permet de connaître les valeurs de site sommaires de n'importe que site dans le monde par ses coordonnées géographiques. Crédit : PHI*



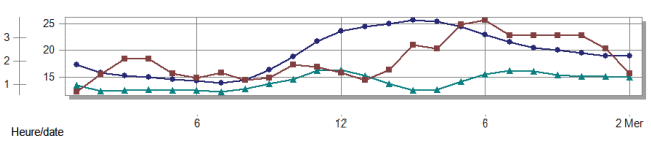

| Mois | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Puissance de chauffage | | Puissance frigorifique | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Jours | 31 | 28 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 | Cond. météo. 1 | Cond. météo. 2 | Cond. météo. 1 | Cond. m |
| Données personnelles - DUBAI,UAE | Latitude ° | 25,2 | Longitude ° | 55,3 | Altitude au-dessus NZ m | 84 | fluctuation quotidienne température été (K) | | | 8,9 | Données de rayonnement: | kWh/(m²mois) | Rayonnement: W/m² | | Rayonnement: W/m² | |
| Température extérieure | 19,5 | 20,7 | 23,6 | 27,9 | 32,5 | 34,5 | 35,8 | 35,5 | 33,2 | 29,4 | 25,3 | 21,5 | 16,3 | 19,6 | 38,6 | 36 |
| Nord | 35 | 37 | 46 | 50 | 65 | 72 | 67 | 55 | 46 | 42 | 35 | 34 | 15 | 10 | 101 | 75 |
| Est | 71 | 79 | 91 | 105 | 120 | 115 | 108 | 108 | 101 | 99 | 79 | 67 | 50 | 27 | 173 | 16 |
| Sud | 142 | 133 | 112 | 84 | 63 | 53 | 59 | 77 | 110 | 153 | 158 | 141 | 102 | 45 | 110 | 18 |
| Ouest | 71 | 80 | 92 | 105 | 120 | 116 | 108 | 108 | 101 | 99 | 79 | 67 | 47 | 27 | 173 | 16 |
| Global | 122 | 139 | 166 | 195 | 227 | 223 | 208 | 203 | 186 | 171 | 136 | 115 | 93 | 53 | 341 | 30 |
| Point de rosée | 8,0 | 8,4 | 9,6 | 11,1 | 13,0 | 15,7 | 17,2 | 17,5 | 15,5 | 13,6 | 12,1 | 10,2 | | | 20,5 | 20 |
| Température du ciel | 3,7 | 3,8 | 7,8 | 10,9 | 13,1 | 15,2 | 21,0 | 20,5 | 14,6 | 9,6 | 7,5 | 5,9 | | | 18,9 | 20 |
| Température du sol | 23,7 | 23,4 | 23,6 | 24,2 | 25,1 | 26,1 | 26,8 | 27,1 | 26,9 | 26,3 | 25,4 | 24,4 | 21,3 | 21,3 | 29,2 | 29,2 |
| Commentaire: | | Passipedia, satellite data | | | | | | | | | | | | | | |

*Figure 4-5b Tableau du logiciel PHPP dans le volet des informations sur le site de Dubaï après introduction les valeurs proposées par http://klimadaten.passiv.de de la Passivhaus Institut. Les températures du sol sont dans la dernière ligne.*

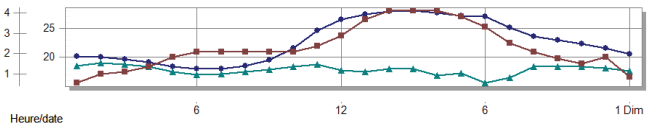
| Journee type | Date/Heure | Température sèche air extérieur °C | Température de point de rosée air extérieur °C | Rayonnement solaire direct kW | Rayonnement solaire diffus kW | Vitesse du vent m/s | Direction du vent - | Pression atmosphérique Pa | Altitude solaire - | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **S2** | 01/01/2002 | 16,5 | 12,1 | 0 | 0 | 3,6 | 270 | 101800 | -88,6 | |
| | 01/01/2002 01:00 | 16 | 12,3 | 0 | 0 | 0,5 | 190 | 101700 | -77,0 | |
| | 01/01/2002 02:00 | 15,6 | 12,5 | 0 | 0 | 2,1 | 120 | 101700 | -63,3 | |
| | 01/01/2002 03:00 | 15,1 | 12,6 | 0 | 0 | 2,1 | 120 | 101600 | -49,7 | |
| | 01/01/2002 04:00 | 14,8 | 12,6 | 0 | 0 | 2,1 T | | 101600 | -36,2 | |
| | 01/01/2002 05:00 | 14,4 | 12,5 | 0 | 0 | 1 | 150 | 101600 | -23,0 | |
| | 01/01/2002 06:00 | 14,2 | 12,4 | 0 | 0 | 1,5 | 180 | 101700 | -10,0 | |
| | 01/01/2002 07:00 | 13,7 | 12,2 | 0 | 0 | 1,5 | 140 | 101700 | 2,5 | |
| | 01/01/2002 08:00 | 15 | 13,2 | 0,129 | 0,028 | 1 | 190 | 101700 | 14,3 | |
| | 01/01/2002 09:00 | 17,4 | 14,1 | 0,284 | 0,145 | 1,5 | 160 | 101800 | 25,0 | |
| | 01/01/2002 10:00 | 19,9 | 15 | 0,795 | 0,067 | 2,1 | 190 | 101800 | 34,0 | |
| | 01/01/2002 11:00 | 23 | 17 | 0,899 | 0,057 | 1,5 | 200 | 101800 | 40,2 | |
| | 01/01/2002 12:00 | 23,9 | 15,9 | 0,833 | 0,113 | 1,5 | 260 | 101700 | 42,7 | |
| | 01/01/2002 13:00 | 24,8 | 14,7 | 0,843 | 0,116 | 1 | 310 | 101500 | 40,7 | |
| | 01/01/2002 14:00 | 25 | 13,1 | 0,843 | 0,106 | 2,1 | 290 | 101500 | 34,9 | |
| | 01/01/2002 15:00 | 26 | 12 | 0,81 | 0,092 | 3,1 | 280 | 101500 | 26,2 | |
| | 01/01/2002 16:00 | 25 | 13,1 | 0,723 | 0,077 | 2,1 | 290 | 101500 | 15,6 | |
| | 01/01/2002 17:00 | 24 | 15 | 0,497 | 0,061 | 4,6 | 320 | 101500 | 3,9 | |
| | 01/01/2002 18:00 | 22 | 16 | 0 | 0,023 | 3,1 | 320 | 101600 | -8,5 | |
| | 01/01/2002 19:00 | 21,2 | 16,3 | 0 | 0 | 3,1 | 320 | 101600 | -21,5 | |
| | 01/01/2002 20:00 | 20 | 16 | 0 | 0 | 3,1 | 310 | 101700 | -34,7 | |
| | 01/01/2002 21:00 | 20 | 15 | 0 | 0 | 3,1 | 310 | 101700 | -48,2 | |
| | 01/01/2002 22:00 | 19 | 15,1 | 0 | 0 | 3,1 | 310 | 101700 | -61,8 | |
| | 01/01/2002 23:00 | 19 | 15 | 0 | 0 | 2,1 | 310 | 101600 | -75,4 | |
| **MOYENNE JOUR** | **01/01/2002** | **19,5** | **14,1** | **6,7** | **0,9** | **2,1** | **237** | **101642** | **0** | **0** |
| **MOYENNE MOIS** | **janv.-02** | **18,0** | **11,9** | **5,5** | **1,3** | **3,0** | **207** | **101457** | **0** | **0** |
| **S3** | | | | | | | | | | |
| | 30/11/2002 00:00 | 21 | 20 | 0 | 0 | 1 | 210 | 101500 | -86,0 | |
| | 30/11/2002 01:00 | 20,2 | 19,2 | 0 | 0 | 1 | 160 | 101500 | -73,5 | |
| | 30/11/2002 02:00 | 20 | 19 | 0 | 0 | 1 | 150 | 101500 | -59,8 | |
| | 30/11/2002 03:00 | 19,5 | 18,6 | 0 | 0 | 1,2 | 150 | 101500 | -46,2 | |
| | 30/11/2002 04:00 | 19 | 18,2 | 0 | 0 | 1,5 | 170 | 101400 | -32,7 | |
| | 30/11/2002 05:00 | 18 | 17 | 0 | 0 | 2,1 | 180 | 101500 | -19,4 | |
| | 30/11/2002 06:00 | 18 | 17 | 0 | 0 | 2,1 | 180 | 101500 | -6,4 | |
| | 30/11/2002 07:00 | 18 | 17,2 | 0 | 0,001 | 2,1 | 150 | 101500 | 6,1 | |
| | 30/11/2002 08:00 | 19 | 17,7 | 0,187 | 0,05 | 2,1 | 150 | 101600 | 17,8 | |
| | 30/11/2002 09:00 | 20 | 18 | 0,487 | 0,113 | 2,1 | 160 | 101600 | 28,3 | |
| | 30/11/2002 10:00 | 22,7 | 18,6 | 0,809 | 0,066 | 2,1 | 180 | 101700 | 36,9 | |
| | 30/11/2002 11:00 | 26 | 19 | 0,882 | 0,071 | 2,6 | 200 | 101600 | 42,5 | |
| | 30/11/2002 12:00 | 27 | 17 | 0,911 | 0,076 | 3,1 | 310 | 101500 | 43,9 | |
| | 30/11/2002 13:00 | 27,8 | 18 | 0,901 | 0,083 | 4,1 | 330 | 101500 | 40,9 | |
| | 30/11/2002 14:00 | 28 | 18 | 0,886 | 0,076 | 4,1 | 300 | 101400 | 34,1 | |
| | 30/11/2002 15:00 | 28 | 18 | 0,82 | 0,077 | 4,1 | 310 | 101400 | 24,7 | |
| | 30/11/2002 16:00 | 27,4 | 16,2 | 0,666 | 0,083 | 4,1 | 310 | 101300 | 13,6 | |
| | 30/11/2002 17:00 | 27 | 18 | 0,401 | 0,057 | 3,6 | 320 | 101400 | 1,6 | |
| | 30/11/2002 18:00 | 27 | 14 | 0 | 0,011 | 3,1 | 320 | 101400 | -11,1 | |
| | 30/11/2002 19:00 | 23,9 | 18,4 | 0 | 0 | 2,1 | 310 | 101400 | -24,2 | |
| | 30/11/2002 20:00 | 23,3 | 18,4 | 0 | 0 | 2,1 | 300 | 101500 | -37,6 | |
| | 30/11/2002 21:00 | 22,8 | 18,5 | 0 | 0 | 1,5 | 280 | 101500 | -51,1 | |
| | 30/11/2002 22:00 | 22,1 | 18,4 | 0 | 0 | 1,5 | 300 | 101500 | -64,8 | |
| | 30/11/2002 23:00 | 21,2 | 18 | 0 | 0 | 2,1 | 290 | 101500 | -78,3 | |
| **MOYENNE JOUR** | **30/11/2002** | **22,8** | **17,8** | **7,0** | **0,8** | **2,3** | **230** | **101488** | **0** | **0** |
| **MOYENNE MOIS** | **nov.-02** | **24,4** | **18,1** | **5,9** | **1,2** | **3,0** | **219** | **101220** | **0** | **0** |
| **S4** | | | | | | | | | | |
| | 19/02/2002 00:00 | 17 | 12 | 0 | 0 | 2,1 | 100 | 100800 | -76,9 | |
| | 19/02/2002 01:00 | 16,5 | 8,7 | 0 | 0 | 3,1 | 20 | 100800 | -63,0 | |
| | 19/02/2002 02:00 | 16 | 9 | 0 | 0 | 5,1 | 360 | 100800 | -61,7 | |
| | 19/02/2002 03:00 | 17 | 10 | 0 | 0 | 4,6 | 20 | 100800 | -48,7 | |
| | 19/02/2002 04:00 | 16,4 | 10,8 | 0 | 0 | 4,1 | 50 | 100800 | -35,1 | |
| | 19/02/2002 05:00 | 16,2 | 10,8 | 0 | 0 | 4,1 | 50 | 100900 | -21,5 | |
| | 19/02/2002 06:00 | 16 | 10 | 0 | 0 | 4,1 | 70 | 100900 | -7,9 | |
| | 19/02/2002 07:00 | 15,3 | 10,8 | 0 | 0 | 4,1 | 70 | 101000 | 5,5 | |
| | 19/02/2002 08:00 | 17 | 12 | 0,2 | 0,045 | 3,6 | 80 | 101000 | 18,4 | |
| | 19/02/2002 09:00 | 22 | 15 | 0,505 | 0,116 | 5,7 | 120 | 101000 | 30,6 | |
| | 19/02/2002 10:00 | 25 | 16 | 0,799 | 0,085 | 7,2 | 140 | 101000 | 41,5 | |
| | 19/02/2002 11:00 | 26 | 15 | 0,855 | 0,111 | 6,2 | 150 | 101000 | 49,9 | |
| | 19/02/2002 12:00 | 28 | 15 | 0,916 | 0,102 | 6,2 | 150 | 101000 | 54,0 | |
| | 19/02/2002 13:00 | 29,6 | 14,2 | 0,937 | 0,103 | 6,2 | 150 | 101000 | 52,5 | |
| | 19/02/2002 14:00 | 30 | 13 | 0,694 | 0,23 | 4,1 | 150 | 100900 | 45,9 | |
| | 19/02/2002 15:00 | 30,1 | 12,6 | 0,33 | 0,328 | 3,1 | 150 | 100900 | 36,0 | |
| | 19/02/2002 16:00 | 30,3 | 12,7 | 0,158 | 0,251 | 2,1 | 190 | 100800 | 24,3 | |
| | 19/02/2002 17:00 | 29 | 15 | 0,058 | 0,169 | 4,1 | 350 | 100800 | 11,7 | |
| | 19/02/2002 18:00 | 26 | 18 | 0,008 | 0,063 | 5,7 | 360 | 100900 | -1,5 | |
| | 19/02/2002 19:00 | 24,7 | 17,2 | 0 | 0,002 | 5,1 | 360 | 100900 | -15,0 | |
| | 19/02/2002 20:00 | 24,2 | 17,4 | 0 | 0 | 4,8 | 360 | 100900 | -28,6 | |
| | 19/02/2002 21:00 | 23,8 | 17,5 | 0 | 0 | 4,4 | 360 | 101000 | -42,2 | |
| | 19/02/2002 22:00 | 23,3 | 17,6 | 0 | 0 | 4,1 | 10 | 101000 | -55,6 | |
| | 19/02/2002 23:00 | 23 | 17 | 0 | 0 | 4,1 | 80 | 101000 | -68,1 | |
| **MOYENNE JOUR** | **19/02/2002** | **22,8** | **13,7** | **5,3** | **1,6** | **4,6** | **163** | **100917** | **0** | **0** |
| **MOYENNE MOIS** | **févr.-02** | **19,9** | **11,9** | **6,6** | **1,3** | **3,5** | **194** | **101359** | **0** | **0** |
| **S5** | | | | | | | | | | |
| | 14/04/2002 00:00 | 25,8 | 19,7 | 0 | 0 | 3,3 | 320 | 100800 | -56,6 | |
| | 14/04/2002 01:00 | 24,7 | 22 | 0 | 0 | 3,6 | 350 | 100800 | -53,3 | |
| | 14/04/2002 02:00 | 25 | 21 | 0 | 0 | 2,6 | 340 | 100800 | -45,4 | |
| | 14/04/2002 03:00 | 24 | 20 | 0 | 0 | 3,6 | 350 | 100700 | -34,8 | |
| | 14/04/2002 04:00 | 23,8 | 20,6 | 0 | 0 | 2,6 | 70 | 100600 | -22,6 | |
| | 14/04/2002 05:00 | 23 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100700 | -9,7 | |
| | 14/04/2002 06:00 | 23 | 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100700 | 3,7 | |
| | 14/04/2002 07:00 | 23,4 | 20,8 | 0 | 0,023 | 2,6 | 110 | 100800 | 17,3 | |
| | 14/04/2002 08:00 | 27,2 | 18,9 | 0,171 | 0,129 | 2,4 | 110 | 100800 | 30,9 | |
| | 14/04/2002 09:00 | 31 | 16 | 0,372 | 0,222 | 2,3 | 110 | 100800 | 44,5 | |
| | 14/04/2002 10:00 | 34,8 | 14,2 | 0,582 | 0,244 | 2,1 | 120 | 100800 | 57,5 | |
| | 14/04/2002 11:00 | 35,5 | 15,4 | 0,499 | 0,334 | 1 | 80 | 100800 | 69,1 | |
| | 14/04/2002 12:00 | 36,1 | 16,6 | 0,317 | 0,458 | 4,1 | 80 | 100800 | 74,9 | |
| | 14/04/2002 13:00 | 36,8 | 17,6 | 0,172 | 0,486 | 7,2 | 320 | 100700 | 69,3 | |
| | 14/04/2002 14:00 | 33,9 | 16,9 | 0,137 | 0,538 | 8,2 | 320 | 100700 | 57,8 | |
| | 14/04/2002 15:00 | 31 | 19 | 0,205 | 0,443 | 9,3 | 320 | 100700 | 44,7 | |
| | 14/04/2002 16:00 | 31,9 | 15,3 | 0,301 | 0,301 | 8,7 | 330 | 100600 | 31,2 | |
| | 14/04/2002 17:00 | 31 | 14 | 0,295 | 0,197 | 9,8 | 340 | 100600 | 17,6 | |
| | 14/04/2002 18:00 | 30 | 16 | 0,15 | 0,107 | 7,7 | 350 | 100600 | 4,0 | |
| | 14/04/2002 19:00 | 28,6 | 18,2 | 0 | 0,014 | 5,7 | 360 | 100600 | -9,4 | |
| | 14/04/2002 20:00 | 27 | 18 | 0 | 0 | 4,1 | 10 | 100600 | -22,4 | |
| | 14/04/2002 21:00 | 26,5 | 18,2 | 0 | 0 | 4,1 | 20 | 100600 | -34,5 | |
| | 14/04/2002 22:00 | 26 | 18,2 | 0 | 0 | 4,1 | 80 | 100600 | -45,2 | |
| | 14/04/2002 23:00 | 25 | 17 | 0 | 0 | 2,6 | 70 | 100600 | -53,2 | |
| **MOYENNE JOUR** | **14/04/2002** | **28,5** | **18,0** | **3,2** | **3,5** | **4,2** | **180** | **100688** | **0** | **0** |
| **MOYENNE MOIS** | **avr.-02** | **26,5** | **15,2** | **5,8** | **2,2** | **3,8** | **207** | **100668** | **0** | **0** |
| **S6** | | | | | | | | | | |
| | 16/08/2002 00:00 | 32 | 28 | 0 | 0 | 2,1 | 340 | 99700 | -51,3 | |
| | 16/08/2002 01:00 | 31,3 | 27,7 | 0 | 0 | 1,5 | 10 | 99700 | -49,3 | |
| | 16/08/2002 02:00 | 31 | 28 | 0 | 0 | 0,5 | 70 | 99700 | -42,4 | |
| | 16/08/2002 03:00 | 30 | 27 | 0 | 0 | 1 | 70 | 99600 | -32,5 | |
| | 16/08/2002 04:00 | 29,6 | 27,1 | 0 | 0 | 2,1 | 80 | 99600 | -20,9 | |
| | 16/08/2002 05:00 | 30 | 27 | 0 | 0 | 3,1 | 130 | 99700 | -8,3 | |
| | 16/08/2002 06:00 | 30 | 27 | 0 | 0 | 3,1 | 140 | 99700 | 4,8 | |
| | 16/08/2002 07:00 | 30 | 27,7 | 0 | 0,031 | 3,6 | 150 | 99700 | 18,2 | |
| | 16/08/2002 08:00 | 31 | 27 | 0,195 | 0,128 | 2,6 | 140 | 99700 | 31,8 | |
| | 16/08/2002 09:00 | 33 | 27 | 0,351 | 0,219 | 2,6 | 230 | 99800 | 45,5 | |
| | 16/08/2002 10:00 | 35,2 | 24,5 | 0,414 | 0,281 | 2,1 | 250 | 99800 | 58,9 | |
| | 16/08/2002 11:00 | 37 | 27 | 0,501 | 0,317 | 3,1 | 280 | 99800 | 71,6 | |
| | 16/08/2002 12:00 | 38 | 26 | 0,585 | 0,311 | 3,6 | 310 | 99700 | 79,4 | |
| | 16/08/2002 13:00 | 38,8 | 25,1 | 0,579 | 0,353 | 2,6 | 310 | 99700 | 73,2 | |
| | 16/08/2002 14:00 | 39 | 26 | 0,662 | 0,282 | 4,1 | 310 | 99600 | 60,8 | |
| | 16/08/2002 15:00 | 38 | 27 | 0,733 | 0,186 | 5,7 | 320 | 99600 | 47,4 | |
| | 16/08/2002 16:00 | 37,1 | 26,9 | 0,682 | 0,159 | 6,2 | 330 | 99500 | 33,7 | |
| | 16/08/2002 17:00 | 37 | 26 | 0,515 | 0,15 | 6,7 | 320 | 99500 | 20,1 | |
| | 16/08/2002 18:00 | 36 | 26 | 0,216 | 0,117 | 7,2 | 340 | 99500 | 6,6 | |
| | 16/08/2002 19:00 | 34,2 | 28,5 | 0 | 0,02 | 5,1 | 350 | 99500 | -6,5 | |
| | 16/08/2002 20:00 | 34 | 29 | 0 | 0 | 4,1 | 10 | 99600 | -19,2 | |
| | 16/08/2002 21:00 | 33 | 28 | 0 | 0 | 2,6 | 20 | 99600 | -30,9 | |
| | 16/08/2002 22:00 | 31,9 | 28,4 | 0 | 0 | 2,6 | 10 | 99700 | -41,1 | |
| | 16/08/2002 23:00 | 31 | 29 | 0 | 0 | 2,1 | 20 | 99700 | -48,6 | |
| **MOYENNE JOUR** | **16/08/2002** | **33,6** | **27,2** | **5,4** | **2,6** | **3,3** | **177** | **99654** | **0** | **0** |
| **MOYENNE MOIS** | **août-02** | **34,8** | **22,1** | **6,7** | **1,9** | **3,7** | **198** | **99716** | **0** | **0** |



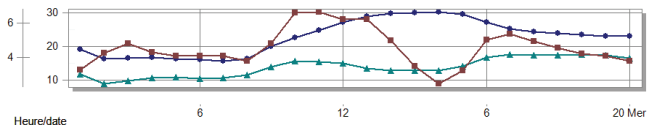

*S2 : 01/01/2002*
*Dubaï*
*temps min : 13,7°C*
*temps max : 26°C*



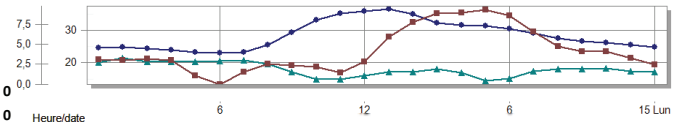

*S3 : 30/11/2002*
*Dubaï*
*temps min : 18°C*
*temps max : 28°C*




*S4 : 19/02/2002*
*Dubaï*
*temps min:15,3°C*
*temps max:30,3°C*




*S5 : 14/04/2002*
*Dubaï*
*temps min:23°C*
*temps max:36,8°C*




*S6 : 16/08/2002*
*Dubaï*
*temps min:29,6°C*
*temps max:39°C*

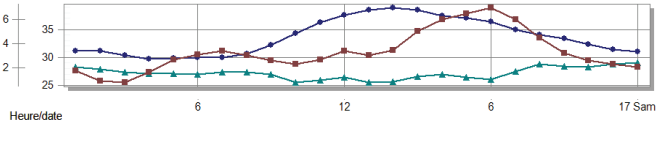



*Figure 4-6 Détail des valeurs climatiques horaires, journaliers et mensuels des journées types choisies pour représenter chaque saison climatique.*

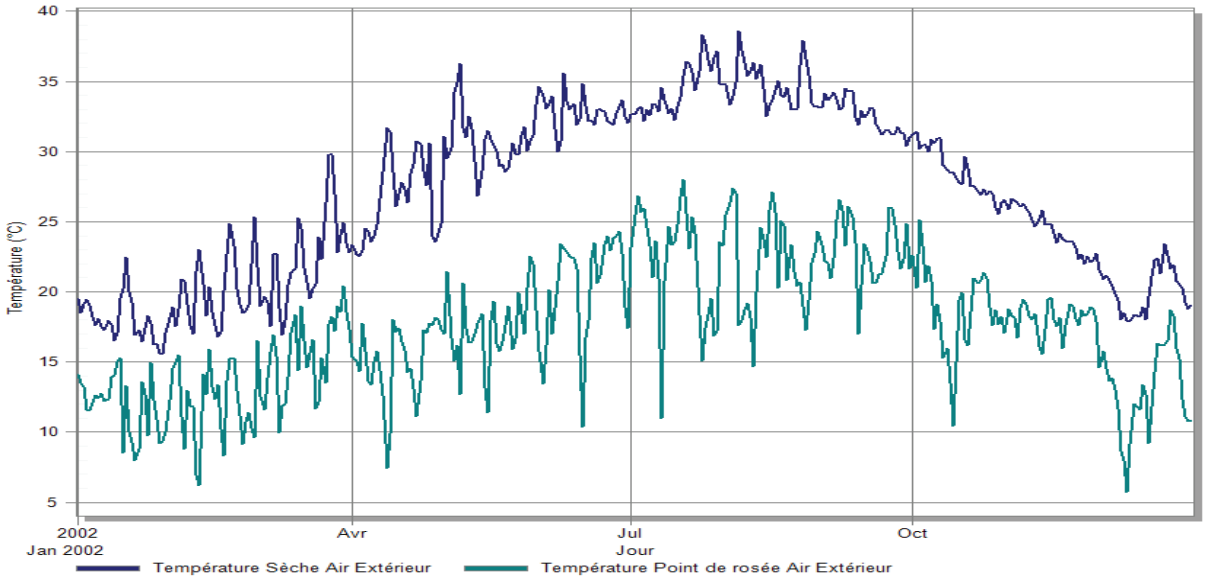



*Figure 4-5c Températures journalières pour tout l'année de simulation a Dubaï - Température sèche et du point de rosée. Source : Design Builder*

modélisées dans ces journées types de chacune des saisons climatiques. Cette série de modélisations nous donnera des valeurs de consommation de la maison pendant une journée de 24h pour assurer une confort fixe à l'intérieur. Les unités de référence pour cette consommation sont le kWh/m2/jour. Si nous comparons la consommation de chaque action avec la consommation de la maison de base, leur différence donne le gain net de consommation journalière. En fonction des actions architecturales la consommation dans cette journée sera différente, et elle nous permettra d'analyser l'impact de chaque action dans une journée type d'une saison thermique.

Nous avons choisit cinq jours qui nous semblaient représentatifs de la saison climatique (Figure 4-6) par les variations des températures horaires dans la journée. Ils représentent bien les principes des saisons thermiques avec les seuils de confort de 19ºC à 26ºC. Les dates utilisées pour modéliser et étudier les effets sur la consommation énergétique sont :

**S1** : elle n'existe pas en climat chaud

**S2 : 1 janvier 2002**

Cette journée, tempérée, a une température de l'air sec minimale de 13,7ºC et une température maximale de 26ºC. La température moyenne de la journée est de 19,5ºC contre 18ºC de moyenne mensuelle. Le ciel de cette journée est plutôt dégagée avec un rayonnement direct de 6,7 kW/hm2 et un rayonnement diffus de 0,9 kW/hm2 contre une moyenne du mois de 5,5 kW/hm2 et 1,3 kW/hm2. L'humidité était plus importante que la moyenne du mois : la température du point de rosée était de 14ºC contre 11,9ºC de moyenne.

**S3 : 30 novembre 2002**

Cette journée, chaude et froide, a une température de l'air sec minimale de 18ºC et une température maximale de 28ºC. La température moyenne de la journée est de 22,8ºC contre 24,4ºC de moyenne mensuelle. Le ciel de cette journée est dégagée avec un rayonnement direct de 7 kW/hm2 et un rayonnement diffus de 0,8 kW/hm2 contre une moyenne du mois de 5,9 kW/hm2 et 1,2 kW/hm2. L'humidité était moins importante que la moyenne du mois : la température du point de rosée était de 17,8ºC contre 18,1ºC de moyenne.

**S4 : 19 février 2002**

Cette journée, tempérée, a une température de l'air sec minimale de 15,3ºC et une température maximale de 30,3ºC. La température moyenne de la journée est de 22,8ºC contre 19,9ºC de moyenne mensuelle. Le ciel de cette journée est partiellement couvert avec un rayonnement direct de 5,3 kW/hm2 et un rayonnement diffus de 1,6 kW/hm2 contre une moyenne du mois de 6,6 kW/hm2 et 1,3 kW/hm2. L'humidité était plus importante que la moyenne du mois : la température du point de rosée était de 13,7ºC contre 11,9ºC de moyenne.

**S5 : 14 avril 2002**

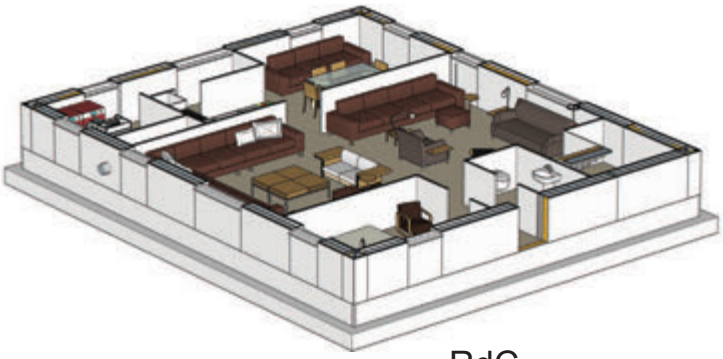
Cette journée, tempérée chaude, a une température de l'air sec minimale de 29,6ºC et une température maximale de 39ºC. La température moyenne de la journée est de 33,6ºC contre 34,8ºC de moyenne mensuelle. Le ciel de cette journée est couvert avec un rayonnement direct de 3,2 kW/hm2 et un rayonnement diffus de 3,5 kW/hm2 contre une moyenne du mois de 5,8 kW/hm2 et 2,2 kW/hm2. L'humidité était plus importante que la moyenne du mois : la température du point de rosée était de 18ºC contre 15,2ºC de moyenne.

**S6 : 16 août 2002**

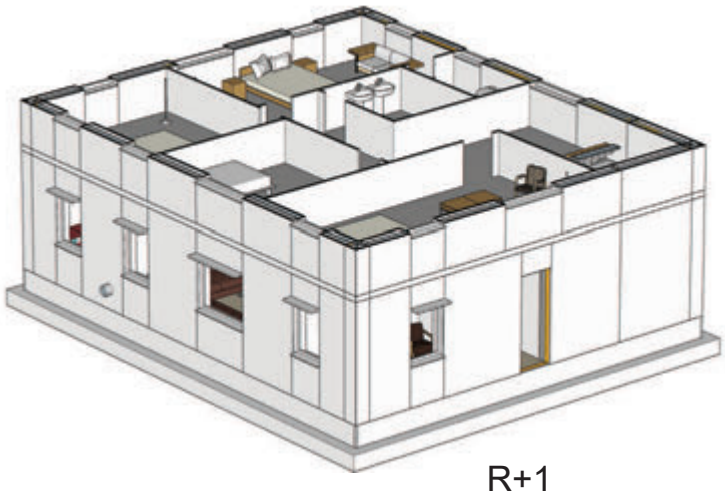
Cette journée, tempérée chaude, a une température de l'air sec minimale de 23ºC et une température maximale de 36,8ºC. La température moyenne de la journée est de 28,5ºC contre 26,5ºC de moyenne mensuelle. Le ciel de cette journée était partiellement couvert avec un rayonnement direct de 5,4 kW/hm2 et un rayonnement diffus de 2,6 kW/hm2 contre une moyenne du mois de 6,7 kW/hm2 et 1,9 kW/hm2. L'humidité était plus importante que la moyenne du mois : la température du point de rosée était de 27,2ºC contre 22,1ºC de moyenne.

## 4-2-2- Description architecturale du modèle représentatif d'une maison au Moyen Orient

Le modèle que nous allons étudier est une maison individuelle R+1 (Figure 4-1, 4-7 et suivantes) très représentative du Moyen Orient (ALDOSSARY et Al, 2014) peut se résumer avec la description suivante :



RdC



R+1

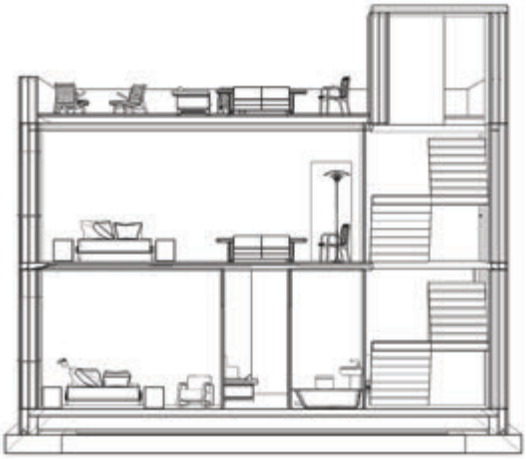
**1- Typologie générale :** Maison individuelle compacte en R+1 isolée d'autres constructions, avec toiture terrasse accessible et sans sous sol. Isolation des murs par l'intérieur et en toiture par l'extérieur

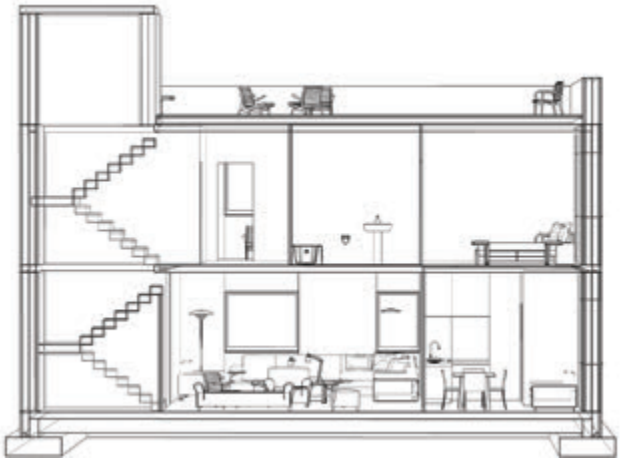
**2- Organisation structurelle :** Construction en maçonnerie avec double mur en bloc béton isolé entre les deux couches, finition en enduit ciment extérieur et plâtre intérieur (Figure 4-9 et 4-10). Planchers en béton armé et dalle basse du RdC en dallage sur terre plein non isolée. Fondations superficielles.

**3- Composition de l'enveloppe**, de l'intérieur vers l'extérieur (Figure 4-11)
Murs : enduit plâtre, briquette 10 cm, isolation XPS 10 cm, lame d'air, brique 15 cm, enduit extérieur.
Toiture : plâtre BA13, dalle béton armé, isolation XPS, étanchéité bitumineuse, chape, carrelage.
Plancher bas du RdC : dallage Béton armé, chape ciment, carrelage.
Murs intérieurs : enduit plâtre, brique , enduit plâtre
Fenêtres : menuiseries en aluminium avec rupture de pont thermique et double vitrage. Les fenêtres ont un petit débord en partie supérieure pour bloquer partiellement le soleil. Cette mesure est cohérente avec le modèle de base car elle apparaît souvent dans les constructions existantes sous une forme ou une autre (Chapitre 1).

**4- Système de refroidissement** : Unité simple flux couplée avec unité de refroidissement air-eau dans la toiture qui distribue le liquide refroidissant dans toutes les unités de ventilation/climatisation (splits) eau-air.

**5- Organisation architecturale :** L'organisation spatiale et fonctionnelle (Figure 4-12) se fait avec la partie pour recevoir le publique en rez-de-chaussée avec une chambre d'invités, une salle de bain, séjour avec deux parties distinctes pour recevoir deux groupes différents ou un grand groupe, cuisine, salle à manger et local technique. Le R+1 est réservé aux membres de la famille avec quatre chambres et deux salles de bain, parents et enfants. La toiture terrasse est accessible à tous par la cage d'escalier qui desserte les chambres et donne l'accès à la toiture.





| | | |
|---|---|---|
| Hauteur entre planchers | 3,15 | m |
| Longueur exterieure | 12,5 | m |
| Largeur exterieure | 10,5 | m |
| Epaisseur structure | 0,2 | m |
| Epaisseur Planchers portés | 0,25 | m |
| Epaisseur Dalle sur Terre pleine | 0,15 | m |
| Epaisseur isolant murs | 0,1 | m |
| Epaisseur isolant toiture | 0,2 | m |
| Epaisseur isolant sol PbRdC | 0 | m |
| Lineaire de cloisons interieurs | 75 | m |
| Surface des murs RdC | 144,9 | m² |
| Surface des murs R+1 | 144,9 | m² |
| dim. petites fenetres 1,8 | 1,5 | m |
| dim. grandes fenetres 1,8 | 2,5 | m |
| Surfaces petites | 2,7 | m² |
| Surfaces grandes | 4,5 | m² |
| Surface des fenetres NORD | 19,8 | m² |
| Surface des fenetres SUD | 15,3 | m² |
| Surface des fenetres EST | 25,2 | m² |
| Surface des fenetres OUEST | 25,2 | m² |
| **Taux d'ouverture TOTAL** | **30%** | |
| Taux d'ouverture NORD | 30% | |
| Taux d'ouverture SUD | 23% | |
| Taux d'ouverture EST | 32% | |
| Taux d'ouverture OUEST | 32% | |
| Nombre de fenetres | 27 | u |

*Figure 4-8 Caractéristiques et dimensions du modèle Maison Base*

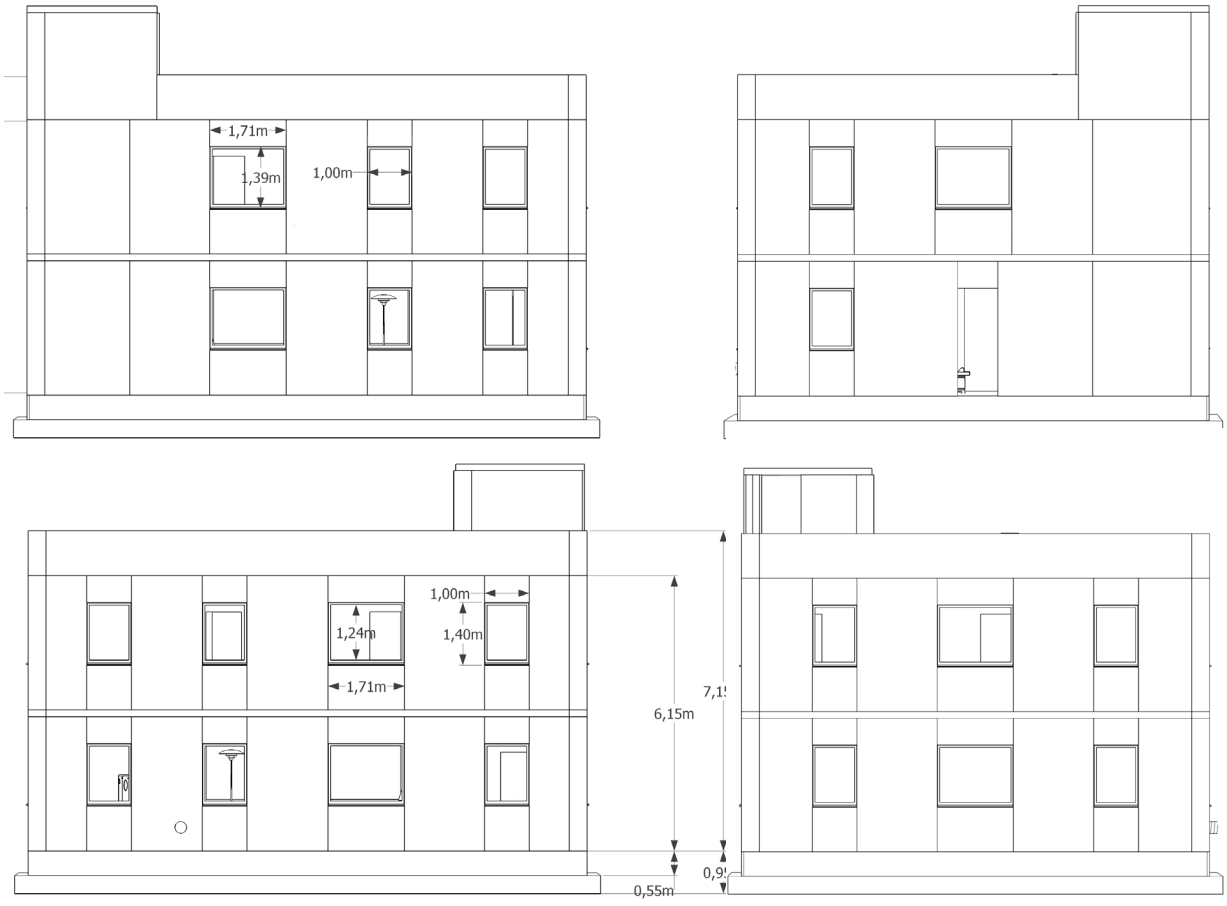



*Figure 4-7 Façades et coupes meublées de la Maison Base*

## Perspective générale

toiture accessible

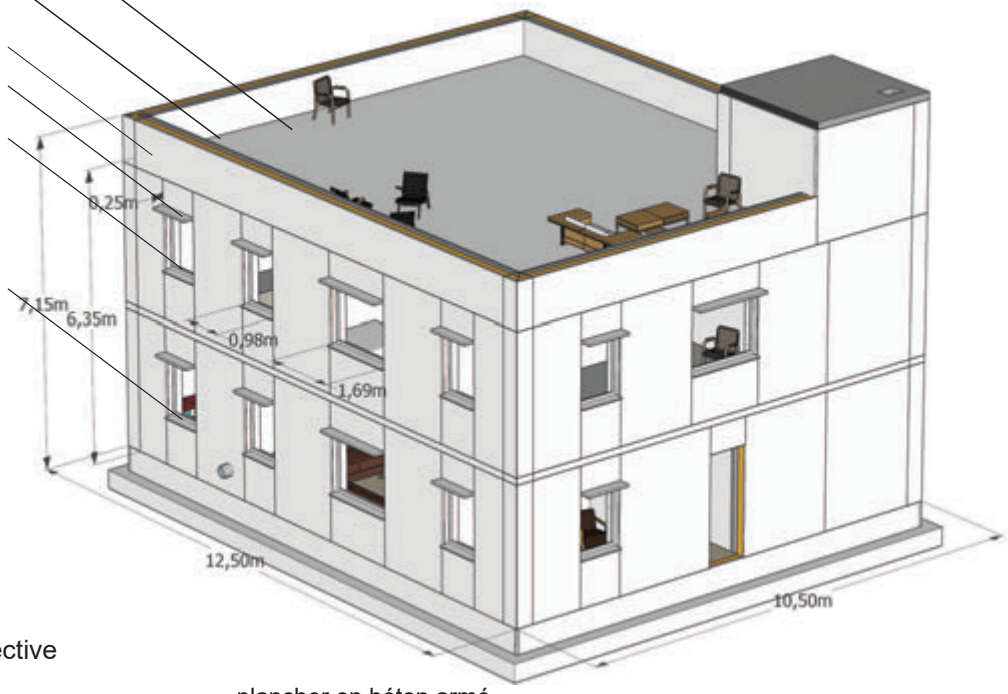
revêtement carrelage ton clair

Enduit extérieur clair

protection solaire par casquette

fenêtres extérieurs cadre aluminium avec rupteur de pont thermique

consignes de confort:
climatisation si tª air >26ºC
chauffage si tª air <19ºC
humidification si HR<20%
des-humidification si HR>70%

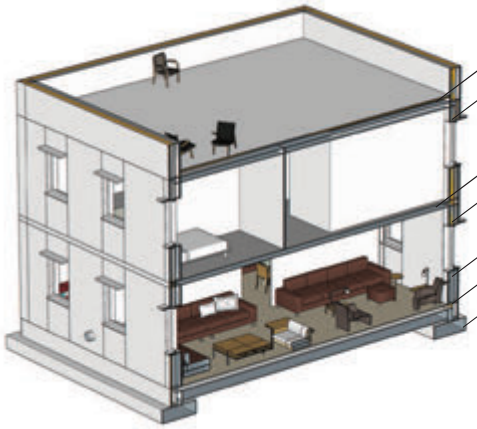



## Section transversale en perspective

plancher en béton armé
mur extérieur porteur maçonné

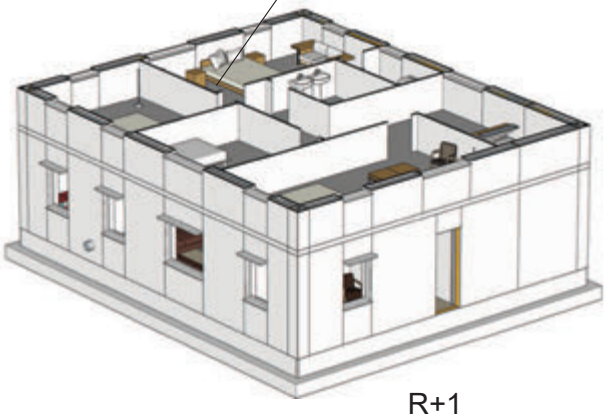
plancher en béton armé
isolation intérieur

mur intérieur maçonné
dallage béton armé
fondation superficielle sans rupteur de pont thermique



## Section horizontale en perspective

consignes de eclairage
9w/m2
300lux



R+1

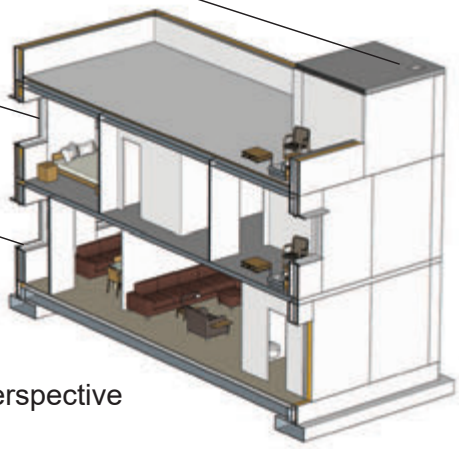
VMC simple flux

climatisation et chauffage
COPsaisonnier : 0,8

ventilation naturelle si température <26ºC
débit: 5v/h

étancheite à l'air n50:16v/h

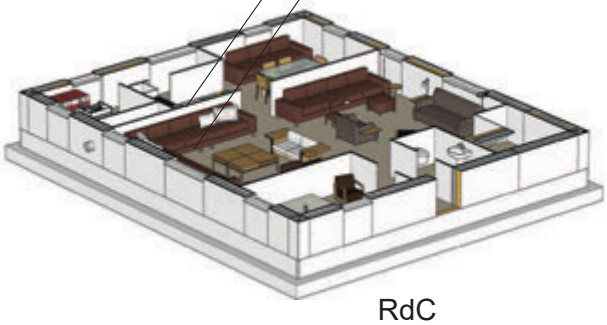
renouvellement d'air:30m3/hpers



## Section longitudinale en perspective

cuisine: 1,78W/m2

ordinateur: 0,44W/m2



RdC

*Figure 4-9 Descriptif générale de la Maison Base*

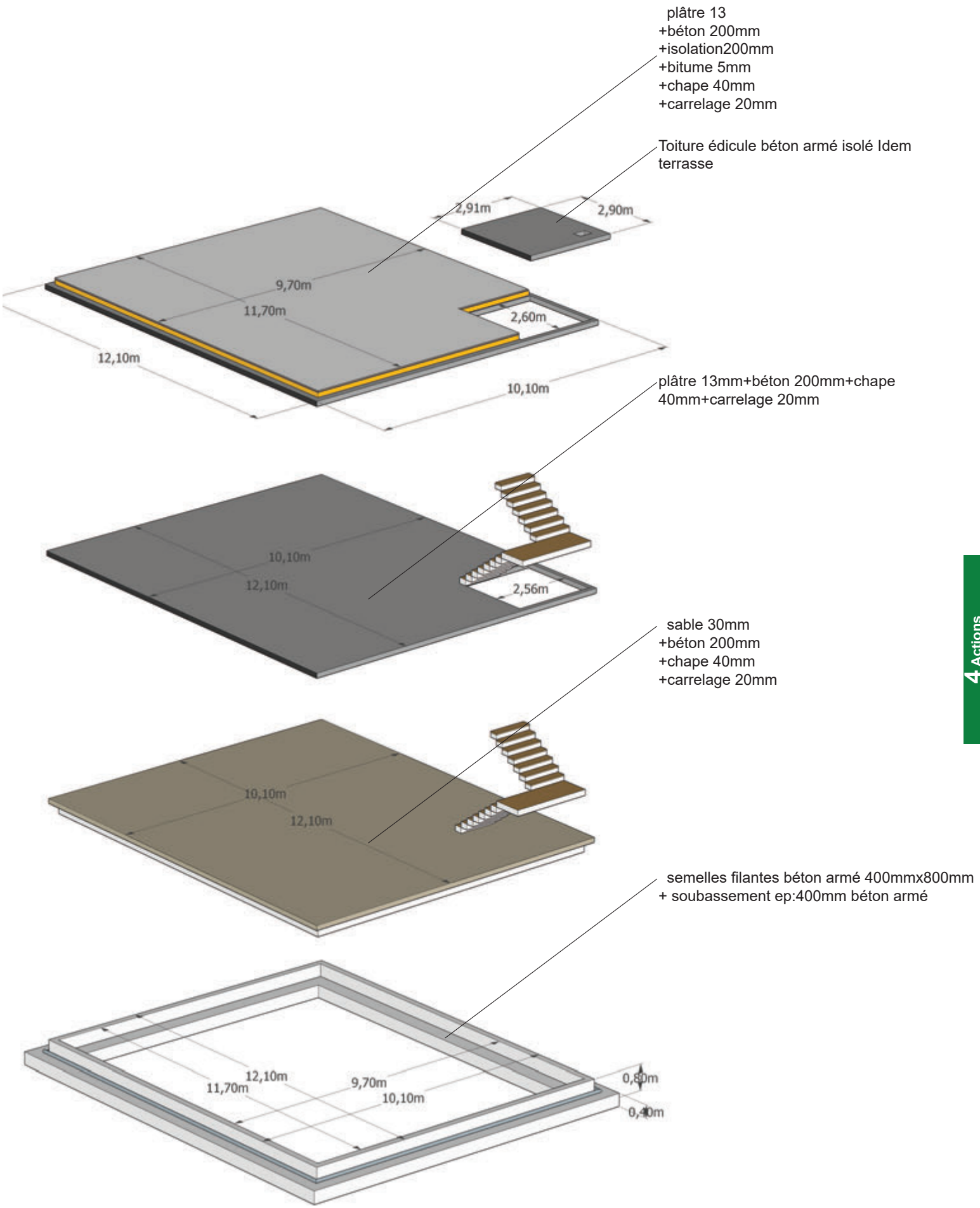



*Figure 4-10 Descriptif des constituants et dimensions des planchers de la Maison Base*

rideau intérieur :
tissu déployé si soleil sur fenêtre
distance entre vitre et rideau : 50 mm
épaisseur e=3mm
conductivité U=1W/m2K
transmission solaire=0,7
réflexion solaire=0,15
transm. rayonnement visible=0,7
émissivité longue onde=0,9

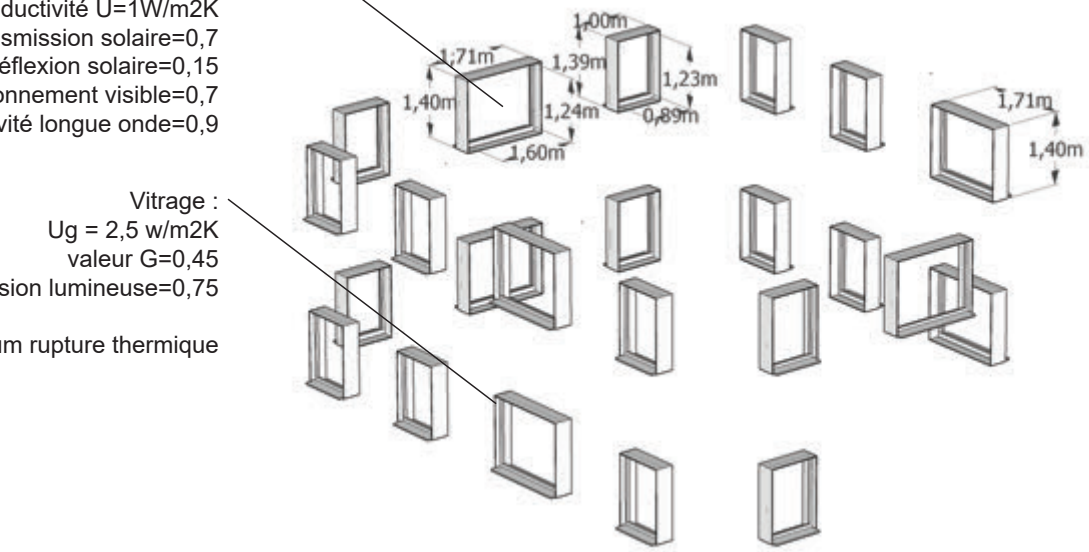
Vitrage :
Ug = 2,5 w/m2K
valeur G=0,45
transmission lumineuse=0,75

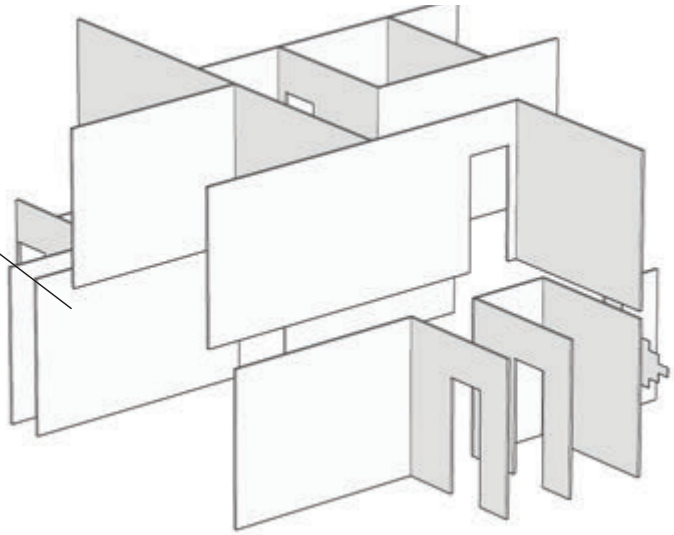
Cadre : aluminium rupture thermique

cloisons intérieures
enduit 13mm+bloc terre cuite
100 mm+enduit 13mm

enduit ciment 20mm
+bloc 150mm
+air 20mm
+isolation 100 mm
+bloc béton100mm
+enduit plâtre10mm

casquette de protection solaire
sur les fenêtres, débord du vitrage
500mm



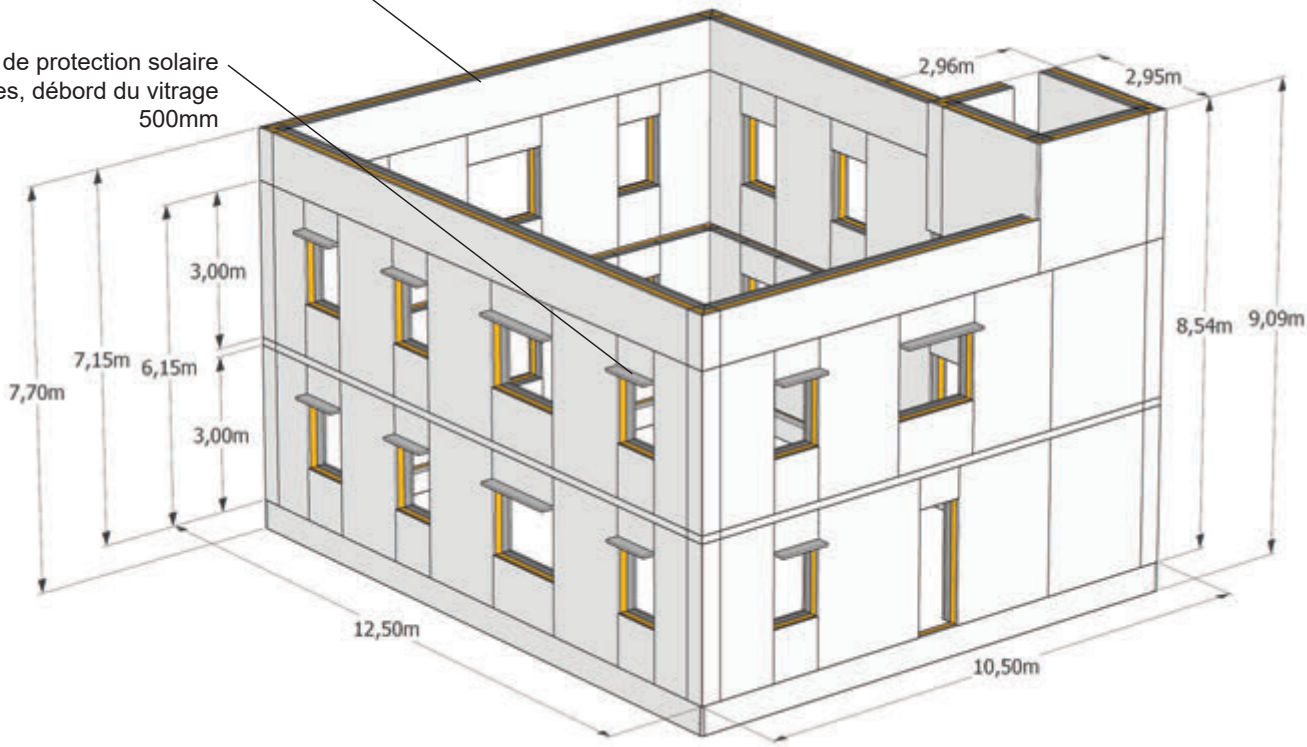



*Figure 4-11 Éclaté du modèle de la Maison Base*

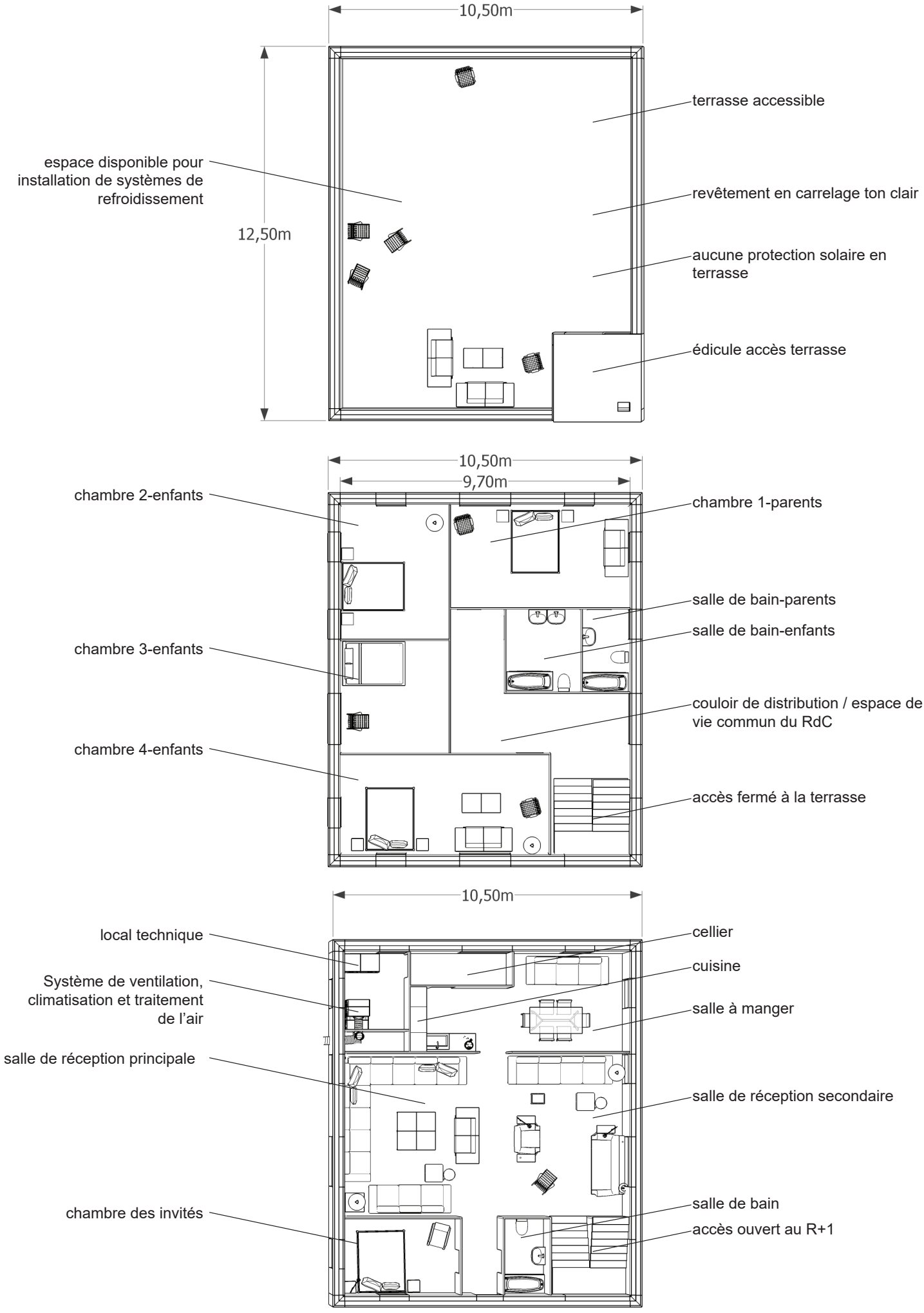



*Figure 4-12 Plans du modèle de la Maison Base*

## 4-2-3- Étude de prix de la construction de la maison de base

En parallèle de la modélisation thermique-dynamique, une étude de prix est faite par maison, modèle de base et variantes modifiées, donneront le coût total de construction et le coup par m2 de construction. Nous pouvons alors calculer le surcoût dû à une action architecturale particulière. La maison a été chiffrée suivant les prix de construction français récents, le détail du chiffrage est présenté en annexes. Les prix unitaires sont issus du croisement de divers devis de construction en 2017 et 2018 dans le département de la Gironde et à l'appui de la collection 2018 des prix du bâtiment en France : Batiprix, qui est la référence nationale pour les prix du secteur du bâtiment. L'objectif du chiffrage de la maison est de maîtriser l'impact de chaque modification dans le prix global de la maison. Le ratio du coût par m2 étant proche de la réalité du terrain, ainsi que la répartition par lots, l'enjeu pour avoir des données précises sera de bien estimer le coût lié à les nouvelles actions ainsi que les économies induites par ces nouvelles actions, à titre d'exemple, si nous réduisons la taille des fenêtres, nous devrons compter plus de murs opaques et moins de vitrage, et ainsi pour chaque une des actions architecturales.

L'etude de prix de construction de la maison s'est structuré suivant les schémas de chiffrage en France, par lot de corps d'états, quantitatif et prix unitaires appliqués aux quantités résultantes des métrés de la maison. L'alotissement du chiffrage est organisé selon les pratiques courantes des opérations dites «par lots séparées» (Figure 4-14). Les métrés sont issue de un travail classique d'architecte maître d'oeuvre et avec les plans CAD

*Figure 4-13 Références actuelles pour la recherche du prix de construction en lots de la Maison Base*

*LOT1 - CLOS ET COUVERT*
*1.1 MAÇONNERIE-FONDATIONS*
*Plateforme et terrassement*
*Semelles filantes en béton armé*
*Murs du sous-bassement bloc béton 20 allegé*
*Drain périphérique D100*
*VRD Eaux vannes*
*VRD Eaux usées*
*VRD Eaux Pluviales*
*1.2 MAÇONNERIE-PLANCHER BAS DU RDC*
*Sable pour couche de forme*
*Isolant XPS ép.100mm R=2,85*
*Dalle béton armé*
*Escalier béton*
*Reagreage*
*Carrelage y/c phinthes*
*1.3 MAÇONNERIE-PLANCHER HAUT DU RDC*
*Peinture plafond*
*Faux plafond en platre*
*Dalle portée béton armé*
*Escalier béton*
*Reagreage*
*Carrelage y/c plinthes*
*1.4 MURS EXTERIEURS*
*Peinture intérieure*
*Plâtre enduite sur bloc béton*
*Mur bloc béton creux 0,10 x 0,20 x 0,50*
*Isolant XPS ép.100mm R=2,85*
*Mur bloc béton creux 0,20 x 0,20 x 0,50*
*Rupteur Pont Thermique XPS ép.100mm*
*Film pare-vapeur*
*Enduit extérieur étanche*
*1.5 TOITURE*
*Peinture plafond*
*Faux plafond en plâtre*
*Plancher porté en béton ep:20cm*
*Isolant XPS ép.200mm m R=5,7*
*Étanchéité toiture bitumineuse*
*Chape de protection de l'étanchéité*
*1.6 CLOISONS INTERIEURS*
*Peinture*
*Enduit - deux faces*
*Mur brique terre cuite alvéolaire*

*LOT 2 - OUVERTURES*
*2.1 MENUISERIE EXTÉRIEURE*
*Fenêtre fermeture à la française Ug=2,5W/Km2*
*Porte d'entrée U=1 W/Km2*

*2.2 BRISES-SOLEIL EXTERIEURS*
*Brise-soleil sur fenêtres*

*2.3 STORE INTERIEUR*
*Store intérieur opaque derrière fenêtres*

*LOT3 - AGENCEMENT INTERIEUR*
*3.1 MENUISERIE INTERIEURE*
*portes intérieures*
*placards*

*LOT 4 - PLOMBERIE ET EAU*
*4.1 PLOMBERIE SANITAIRE*
*Distribution eau potable en cuivre*
*Distribution évacuation EV/EU*
*Arrivée générale Eau Potable + branchement*
*Robinetterie*
*Sanitaires-WC*
*Douche/baignoire*
*Lavabo*
*Evier cuisine*

*LOT 5 - CVC*
*5.1 CVC*
*Climatisation : pompe + splits muraux*
*Chauffe-eau thermique-dynamique - Gaz*
*VMC Simple flux*
*VMC double flux*
*VMC distribution des gaines*

*LOT 6 - ELECTRICITE*
*6.1 ELECTRICITE*
*Distribution eau potable en cuivre*
*Branchements réseaux générale + compteur*
*Appareillage : prises, rg45,..*
*Eclairage*

*LOT 7 - ELECTROMENAGERS ET ACCESOIRES*
*7.1 ELECTROMENAGERS*
*Frigo*
*Lave-vaisselle*
*Lave-linge*
*Micro-ondes*
*Télévision*
*Feux électriques*
*Four*
*Ordinateurs*
*Ventilateurs*

*Figure 4-14 Décomposition en lots de la Maison Base*

de la maison, plans coupes et élévations pour la quantification des éléments. Les prix unitaires (Figure 4-15) sont issues d'une science économique avec une incertitude alimentée par la localisation et l'état de disponibilité des entreprises ce qui fait difficile son inclusion dans une étude scientifique. Nous pensons cependant que la prise en compte de la dimension économique du projet est fondamentale. Pour diminuer cette incertitude nous allons nous baser sur la base de données de Batiprix 2018 et nous allons comparer sa validité par des prix que nous avons de 2017 concernant la construction de trois maisons de très basse consommation dans la région d'Aquitaine :

- Maison individuelle a Saucats, construite en 2017 livrée et déjà habitée.
- Maison individuelle a Bègles, la construction a commencé en juin 2018 et sera livrée après la présentation de cette étude
- Maison individuelle à Carbon Blanc, troisième est à l'état de projet.

Les entreprises qui ont chiffré les maisons sont des entreprises locales avec connaissance du terrain, leur prix sont compétitifs dans un contexte, celui de la région Bordelaise, d'activité soutenue mais stable. Les trois maisons sont décrites sommairement dans la Figure 4-13. La Figure 4-15 montre la moyenne des prix unitaires (PU) des entreprises qui ont travaillé dans les projets ci-dessus ainsi que celui donné par Batiprix. La moyenne de tous ces prix sera la valeur du PU que nous utiliserons pour l'évaluation financière du coût de la maison Base et variantes.

Nous avons évalué le prix de la maison à 313 793 €HT (Figure 4-16), soit 1406 €/m2 ce qui reste un prix bas, très compétitif et sans les travaux des VRD (voirie et réseaux divers ) autour du terrain, mais crédible

| | | Unités | MOYENNE |
|---|---|---|---|
| LOT 1 - CLOT ET COUVERT | | | Maison France |
| **1.1** | **MAÇONNERIE-FONDATIONS** | | |
| | Plateforme et terrassement | m² | 33 |
| | Semelles filantes en béton armé | m³ | 398 |
| | Murs du sous-bassement bloc beton 2 | m² | 47 |
| | Drain peripherique D100 | ml | 41 |
| | VRD Eaux vannes | ens | 1867 |
| | VRD Eaux usées | ens | 680 |
| | VRD Eaux Pluviales | ens | 958 |
| **1.2** | **MAÇONNERIE-PLANCHER BAS DU RDC** | | |
| | Sable pour couche de forme | m³ | 50 |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50 | m³ | 311 |
| | Dalle béton armé | m³ | 429 |
| | Escalier beton | u | 1500 |
| | Reagreage | m² | 22 |
| | Carrelage y/c phinthes | m² | 55 |
| **1.3** | **MAÇONNERIE-PLANCHER HAUT DU RDC** | | |
| | Peinture plafond | m² | 24 |
| | Faux plafond en platre | m² | 31 |
| | Dalle portée béton armé | m³ | 639 |
| | Escalier beton | u | 1500 |
| | Reagreage | m² | 27 |
| | Carrelage y/c phinthes | m² | 47 |
| **1.4** | **MURS EXTERIEURS** | | |
| | Peinture interieure | m² | 23 |
| | Platre enduite sur bloc beton | m² | 26 |
| | Mur bloc beton creux 0,10 x 0,20 x 0,5 | m² | 52 |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50 | m³ | 400 |
| | Mur bloc beton creux 0,20 x 0,20 x 0,5 | m² | 43 |
| | Rupteur Pont Thermique XPS ép.100r | ml | 100 |
| | Film pare-vapeur ( en climat chaud ex | m² | 15 |
| | Enduit exterieur etanche | m² | 33 |
| **1.5** | **TOITURE** | | |
| | Peinture plafond | m² | 37 |
| | Faux plafond en platre | m² | 36 |
| | Plancher porté en béton ep:20cm | m² | 530 |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50 | m³ | 400 |
| | Étanchéité toiture bitumineuse | m² | 148 |
| | Chape de protection de l'etancheité | m³ | 250 |
| **1.6** | **CLOISONS INTERIEURS** | | |
| | Peinture | m² | 23 |
| | Enduit - deux faces | m² | 25 |
| | Mur brique terre cuite alveolaire 0,10 | m² | 60 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| LOT 2 - OUVERTURES | | | |
| **2.1** | **MENUISERIE EXTERIEURE** | | |
| | Fenêtre 2 fermeture a la francaise - dc | m² | 500 |
| 2175 | Porte d'entrée U=1 W/Km2 | u | 1537 |
| **2.2** | **BRISE-SOLEIL EXTERIEURS** | | |
| | Brise-soleil sur fenetres | m² | 100 |
| **2.3** | **STORE INTERIEURS** | | |
| | Store interieur opaque derriere fenetr | m² | 20 |
| LOT3 - AGENCEMENT INTERIEUR | | | |
| **3.1** | **MENUISERIE INTERIEURE** | | |
| | portes interieures | u | 162 |
| | placards | u | 500 |
| LOT 4 - PLOMBERIE ET EAU | | | |
| **4.1** | **PLOMBERIE SANITAIRE** | | |
| | Distribution eau potable en cuivre | m2 | 12 |
| | Distribution evacuation Eaux Vannes-l | m2 | 23 |
| | Arrivée generale Eau Potable + brache | ens | 2000 |
| | Robinetterie | u | 113 |
| | Sanitaires-WC | u | 252 |
| | Douche/baignoire | u | 456 |
| | Lavabo | u | 430 |
| | Evier cuisine | u | 309 |
| LOT 5 - CONFORT THERMIQUE ET QUALITE DE L'AIR | | | |
| **5.1** | **CVC** | | |
| | Climatisation : chiller + splits muraux ( | u | 6196 |
| | Chauffe-eau thermodynamique - Gaz | u | 2785 |
| | VMC Simple flux | u | 1500 |
| | VMC double flux | u | 3374 |
| | VMC distribution des gaines | m2 | 18 |
| LOT 6 - ELECTRICITE | | | |
| **6.1** | **ELECTRICITE** | | |
| | Distribution eau potable en cuivre | m2 | 120 |
| | Branchements reseaux generale + cor | ens | 2210 |
| | Appareillage : prises, rg45,.. | u | 102 |
| | Eclairage | u | 300 |
| LOT 7 - ELECTROMENAGERS ET ACCESOIRES | | | |
| **7.1** | **ELECTROMENAGERS** | | |
| | Frigo | u | 950 |
| | Lavevaisselle | u | 650 |
| | Lavelinge | u | 850 |
| | Microondes | u | 250 |
| | Television | u | 850 |
| | Feux electriques | u | 320 |
| | Four | u | 1100 |
| | Ordinateurs | u | 3000 |
| | AUTRE : - | u | 3000 |

*Figure 4-15 Prix unitaires en Euros des différents postes de la Maison Base*

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AXE | 0 | | | | | | | | |
| VOLET | 0 | | | | | | | | |
| ACTION | 0 | | | | | | | | |
| CODE | LIBELLÉ | | DIM 1 | DIM2 | DIM3 | U | Q | PU | TOTAL HT |
| LOT 1 - ENVELOPPE EXTERIEUR | | | | | | | | | |
| 1.1 | MAÇONNERIE-FONDATIONS | | | | | | | | |
| | Plateforme et terrassement | | 12,5 | 10,5 | 1 | m² | 131 | 33 € | 4 328,63 € |
| | Semelles filantes en béton armé | | 46 | 0,5 | 0,4 | m³ | 9 | 398 € | 3 660,07 € |
| | Murs du sous-bassement bloc beton | | 46 | 0,5 | 1 | m² | 23 | 47 € | 1 078,24 € |
| | Drain peripherique | | 12,5 | 10,5 | 2 | ml | 46 | 41 € | 1 907,16 € |
| | VRD Eaux vannes | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 867 € | 1 866,67 € |
| | VRD Eaux usées | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 680 € | 680,35 € |
| | VRD Eaux Pluviales | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 958 € | 957,50 € |
| | | SOUS-TOTAL | | | | | | | 14 478,61 € |
| 1.2 | MAÇONNERIE-PLANCHER BAS DU RDC | | | | | | | | |
| | Sable pour couche de forme | | 12,5 | 10,5 | 0,2 | m³ | 26 | 50 € | 1 312,50 € |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | | 12,5 | 10,5 | 0 | m³ | 0 | 311 € | 0,00 € |
| | Dalle béton armé | | 12,5 | 10,5 | 0,15 | m³ | 20 | 429 € | |
| | Escalier beton | | 1 | 1 | 1 | u | | | |
| | Reagreage | | 11,9 | 9,9 | | | | | |
| | Carrelage y/c phinthes | | | | | | | | |
| | | SOU | | | | | | | |
| 1.3 | MAÇONNERIE-PLANCHER | | | | | | | | |
| | Peinture | | | | | | | | |

**Prix Total: 313793,61 €HT**

**223,12 m2**

**1406 €/m2**

**variation s/ Base: 0 €HT**

*Figure 4-16 Extrait de l'etude de prix par lot et par poste de la Maison Base*

pour notre étude. A ce jour, 2018 en France, les prix du m2 de construction neuve des maisons individuelles se situent entre 1350€HT et 2400€HT pour des prestations de bonne qualité. Lors de nos entretiens au Moyen Orient nous avons pris connaissance des prix de construction locaux qui sont nettement plus bas que en France, allant de 300€HT/m2 pour une maison de qualité standard moyenne basse à 500€/m2 pour une maison haute de gamme. Le prix de la main d'oeuvre et les niveaux fiscaux justifient en grande partie cet écart.

## 4-2-4- Modèle thermique Design Builder/E+ de la maison

Le modèle énergétique est un modèle 3D Design Builder avec le moteur de calcul EnergyPlus, Version DB 4.7. Le modèle DB/E+ est une modèle de simulation thermique-dynamique des bâtiments, avec le moteur de calcul Energy+ qui est considéré comme la référence mondiale en simulation thermique.

**1- Organisation générale du modèle**

Un seul bâtiment composé de deux blocs avec une seule zone par bloc. Ces deux éléments sont superposés, RdC et R+1, et reliés entre eux par une surface adiabatique (Figure 4-1).

**2- Localisation**

Le modèle est associé aux conditions climatologiques de l'aéroport de Dubaï, latitude 25,25º, longitude 55,33º et à 10 m d'altitude au dessus du niveau de la mer. L'exposition au vent est paramètrée «2-normale». Le fichier météo horaire et les températures du sol utilisées sont en annexes.

**3- Dimensions de référence**

Surface du plancher habitable à l'intérieur de l'enveloppe thermique : 216 m2
Volume habitable : 728 m3

**4- Nombre d'occupants et des habitudes d'utilisation de la maison**

6 personnes présents tout le long de l'année, sans tenir compte des périodes des vacances, mais avec des absences horaires de la maison, utilisation de la cuisine et des appareils bureautique inclus. Concernant le planning type que nous utiliserons par la suite en Design Builder, nous avons choisi, conforme aux analyses du chapitre 1-2-2, de créer trois moments de haute utilisation de la maison, ventilation, cuisine, lumière : le matin, midi et soir correspondant aux moments de repas et sa préparation et avec une progression de l'utilisation énergétique en forme de courbe de Gauss avec des pics à 8h 15h et 21h (Figure 4-17).

**5- Paramètres de confort**

Suite aux visites que nous avons réalisées, la tolérance aux températures se fait en fonction des

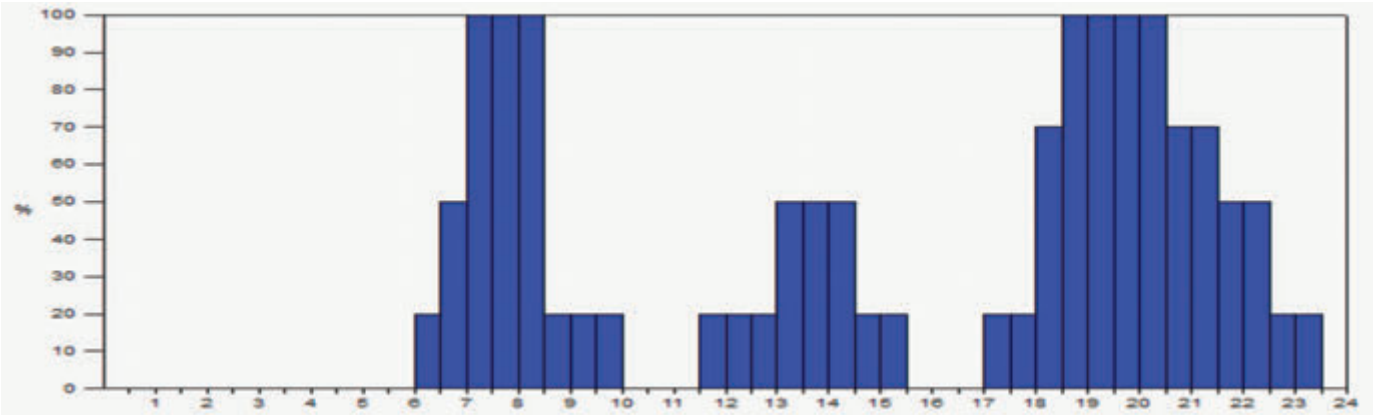



*Figure 4-17 Planning réalisé dans le cadre de cette thèse pour la simulation du modèle thermique.*

habitudes culturelles et du contexte climatique. Pour garder une réfèrence européen identifiable, nous restons sur un créneau de température de consigne de 19ºC et 26ºC, et une humidité relative acceptée entre 20% et 70%. Cependant nous sommes conscients que pour appliquer la méthode à une commande locale, les seuils de température devraient être revus. Le renouvellement de l'air intérieur est de 30 m3/hpersonne. L'éclairage dans la maison est de 300 lux permanents pendant les périodes d'activité, une cuisine de 385 W (1,78 W/m2) fonctionnant selon un planning de 2,5 h par jour, de 7h-7h30, de 13h-14h et de 19h-20h. Le parc bureautique de la maison représente une puissance de 95 W pendant deux heures de 22h a 24h.

**6- Les parois de l'enveloppe**

Les parois externes (Figure 4-18) sont représentées par trois types de murs :

-les murs verticaux externes sont constitués (extérieur vers l'intérieur) d'enduit ciment 20 mm, bloc 150 mm, lame d'air 20 mm, isolation en polystyrène extrudé (XPS) de 100 mm, et une couche supplémentaire habituelle dans la culture constructive du Moyen Orient qui est le bloc béton intérieur de 100 mm enduit en plâtre artisanal de 10 mm.

-le plancher bas du RdC est un dallage sur terre-plein représenté par une couche de béton de 120 mm, une chape de mortier et du carrelage scellé. Dans le modèle de base, le plancher bas n'est pas isolé.

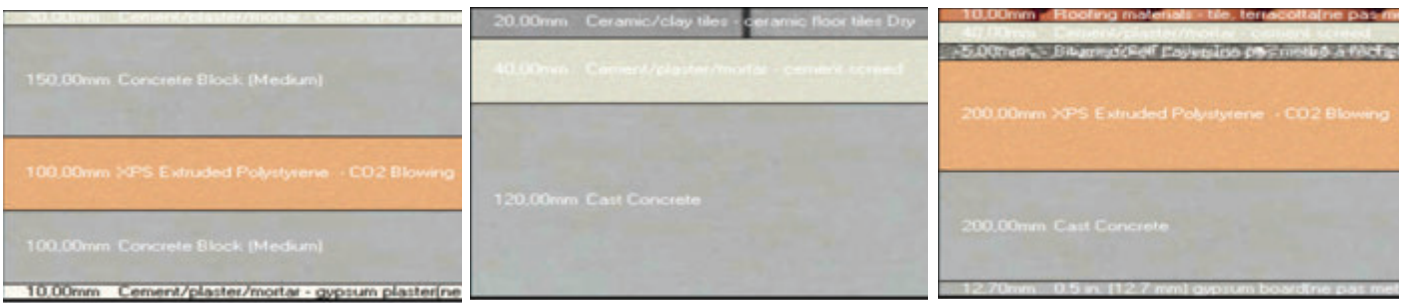
-la toiture est composée d'un plancher porté en béton armé de 200 mm, d'une couche d'isolation de 200 mm de XPS, d'un film d'étanchéité, d'une chape en mortier de 40 mm et d'un carrelage scellé.

**7- Étanchéité à l'air et renouvellement de l'air**

L'enveloppe de la construction a une étanchéité considéré comme très mauvaise, de 16,5 v/h à 50 Pa de différence entre l'extérieur et l'intérieur, selon la norme EN 138229. Les fenêtres n'apportent pas d'air neuf à la maison, l'apport se fait par le système central de ventilation. L'éclairage de la maison représente une puissance de 3 W/m2 avec une répartition de fractions radiante/visible/convective de 0.42, 0.18 et 0.4 respectivement. L'apport d'air frais est fait selon une valeur de 30 m3/h par personne minimum en simple flux sans récupération de la chaleur ni système de surventilation nocturne (free cooling).

**8- Proportion et typologie des ouvertures en façade**

Le modèle de base a un pourcentage de 30% d'ouverture avec une hauteur d'allège de 1,5 m. Dans le modèle, les fenêtres sont alignées avec le nu extérieur des murs. Pour simuler davantage l'ombre portée que les éléments architecturaux peuvent avoir sur les vitrages, nous avons modélisé une casquette de 50 cm de profondeur sur les fenêtres.




*Murs verticaux* *Plancher bas du RdC* *Toiture*

*Figure 4-18 Coupes schématiques des compositions des murs extérieurs du modèle.*

**9- Eau chaude sanitaire**

Nous avons annulé la consommation d'eau chaude sanitaire (ECS) dans le modèle pour ne pas interférer avec l'influence des actions architecturales que nous allons varier dans le modèle.

## 4-3- Analyse des actions architecturales : modèle de base

### 4-3-1- Comportement thermique Design Builder/E+ annuel et journalier

Le modèle de base soumis au fichier météo de Dubaï donne les valeurs des consommations pour l'année et pour chacun des jours types représentatifs des saisons S2 à S6 :

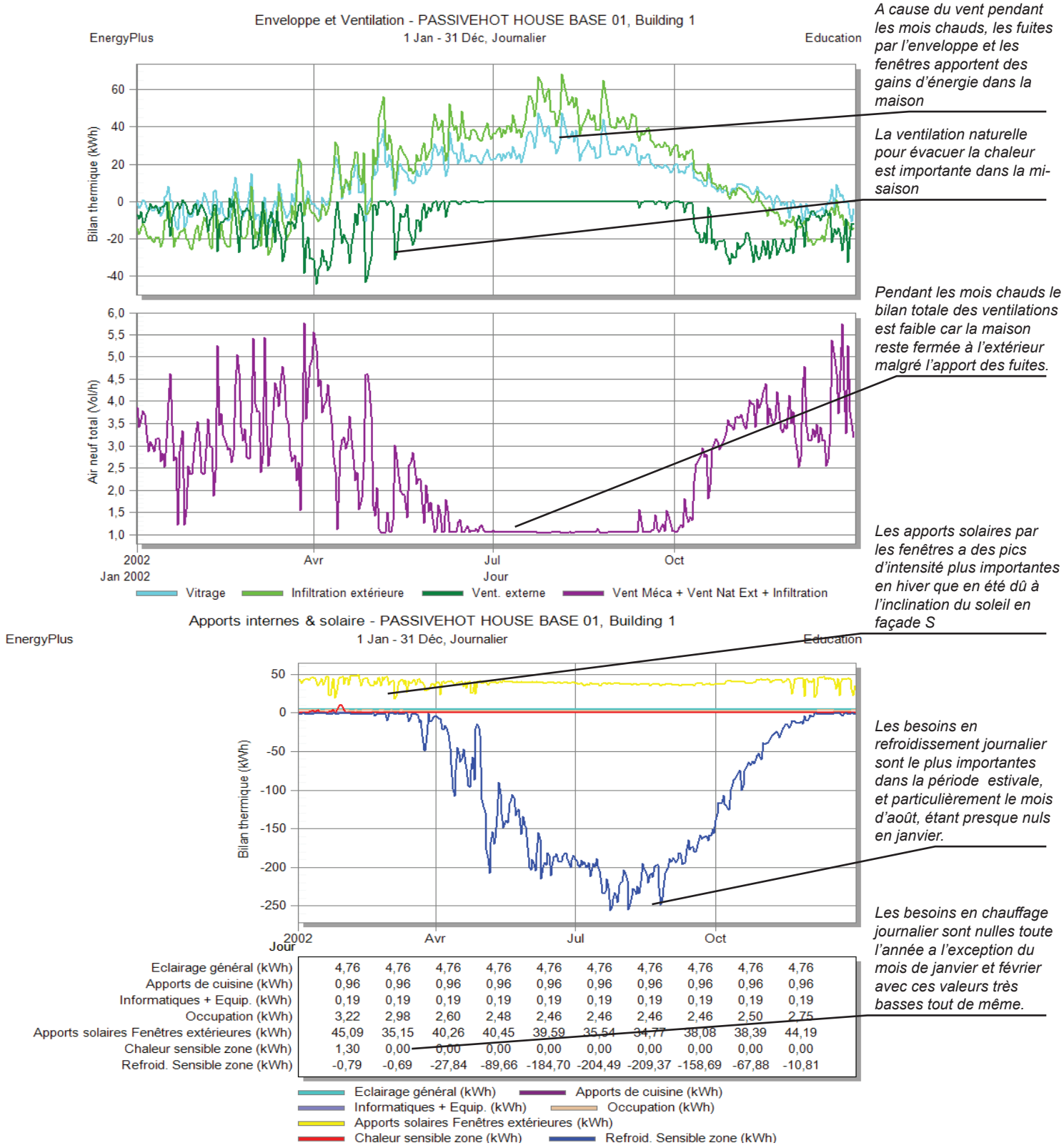
| | | |
|---|---|---|
| Annuel : | | 237,87 kWh/m2an, |
| S2 : | 0,03 | kWh/m2jour |
| S3 : | 0,1 | kWh/m2jour |
| S4 : | 0,05 | kWh/m2jour |
| S5 : | 0,44 | kWh/m2jour |
| S6 : | 1,7 | Wh/m2jour |

Ces valeurs sont cohérents avec des études existants sur la consommation au Moyen Orient (ALDOSSARY et Al, 2014). Si nous les comparons avec notre contexte en France c'est intéressant de constater qu'ils sont équivalents aux dépenses énergétiques des ménages modestes dans des logements sociaux de basse qualité thermique en France (construction des années 80) dans des climats modérés froids.

Avec une grille tarifaire française de 0,12€/kWh d'énergie finale, les dépenses en électricité par jour et annuelles sont de :

| | | |
|---|---|---|
| Annuel : | 6394 | €/an, |
| S2 : | 0.806 | €/jour |
| S3 : | 2.7 | €/jour |
| S4 : | 1,34 | €/jour |
| S5 : | 11.8 | €/jour |
| S6 : | 45,7 | €/jour |

Les montants de consommation électrique peuvent sembler importants mais pour une grande maison comme celle du modèle les montants sont tout a fait crédibles. L'approche surfacique montre aussi que les dépenses par jour type sont très différentes, d'un facteur de 55 fois supérieur entre une journée S6 et une journée S2. Nous analysons par la suite le comportement du modèle de la maison Base sous la période annuelle et dans chacun des jours type (Figure 4-19 à 4-25). L'analyse de ces périodes montre que le comportement du modèle pendant les 5 jours types et annuelle est cohérent : la ventilation marche correctement lorsque que les consignes de températures le permettent, les apports sont en adéquation avec le planning, les consommations sont en accord avec les températures extérieures et de la température des parois : température radiative. Nous constations aussi l'influence de la température extérieure sur celle de l'intérieur de la maison lorsque l'extérieur descend sous le seuil de 26ºC, notre seuil arbitraire haut de consigne de confort. Nous constatons une anomalie : la température extérieure pour la saison S3 qui devait rester dans un seuil de 19ºC - 26ºC, dépasse légèrement pendant une courte période le seuil de 26ºC et de ce fait la ventilation naturelle avec l'extérieure est coupée, la climatisation est déclenchée et les consommations augmentent. Nous devrons tenir compte de cette éventualité dans les analyses ultérieurs que nous ferons de la journée type S3. Dans des futures expériences nous devrons faire plus attention au choix de la journée type, car au regard des résultats, le dépassement du seuil a un enchaînement de conséquences qui peuvent fausser les résultats et les analyses.




*A cause du vent pendant les mois chauds, les fuites par l'enveloppe et les fenêtres apportent des gains d'énergie dans la maison*

*La ventilation naturelle pour évacuer la chaleur est importante dans la mi-saison*

*Pendant les mois chauds le bilan totale des ventilations est faible car la maison reste fermée à l'extérieur malgré l'apport des fuites.*

*Les apports solaires par les fenêtres a des pics d'intensité plus importantes en hiver que en été dû à l'inclination du soleil en façade S*

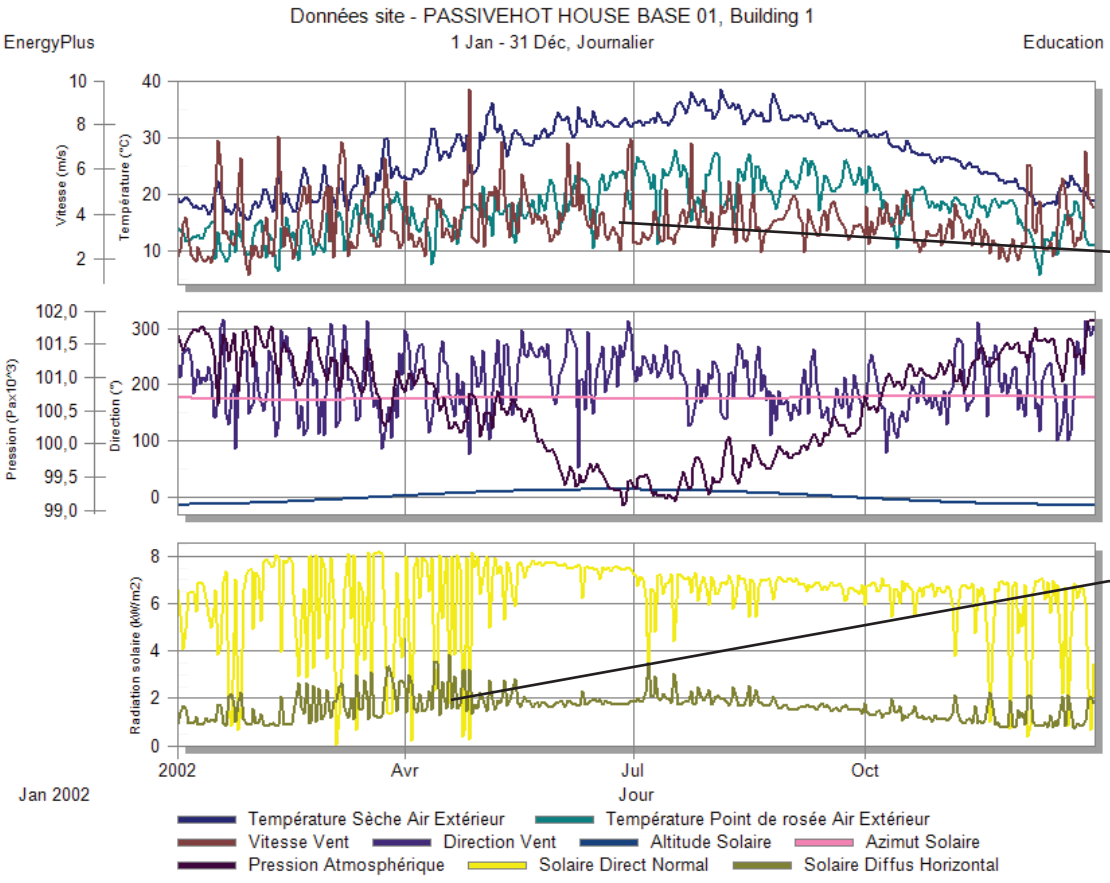
*Les besoins en refroidissement journalier sont le plus importantes dans la période estivale, et particulièrement le mois d'août, étant presque nuls en janvier.*

*Les besoins en chauffage journalier sont nulles toute l'année a l'exception du mois de janvier et février avec ces valeurs très basses tout de même.*

*Figure 4-19 Graphiques du comportement thermique et de la consommation annuelle à Dubaï*

## Comportement Annuel : 1 Janvier au 31 Décembre 2002

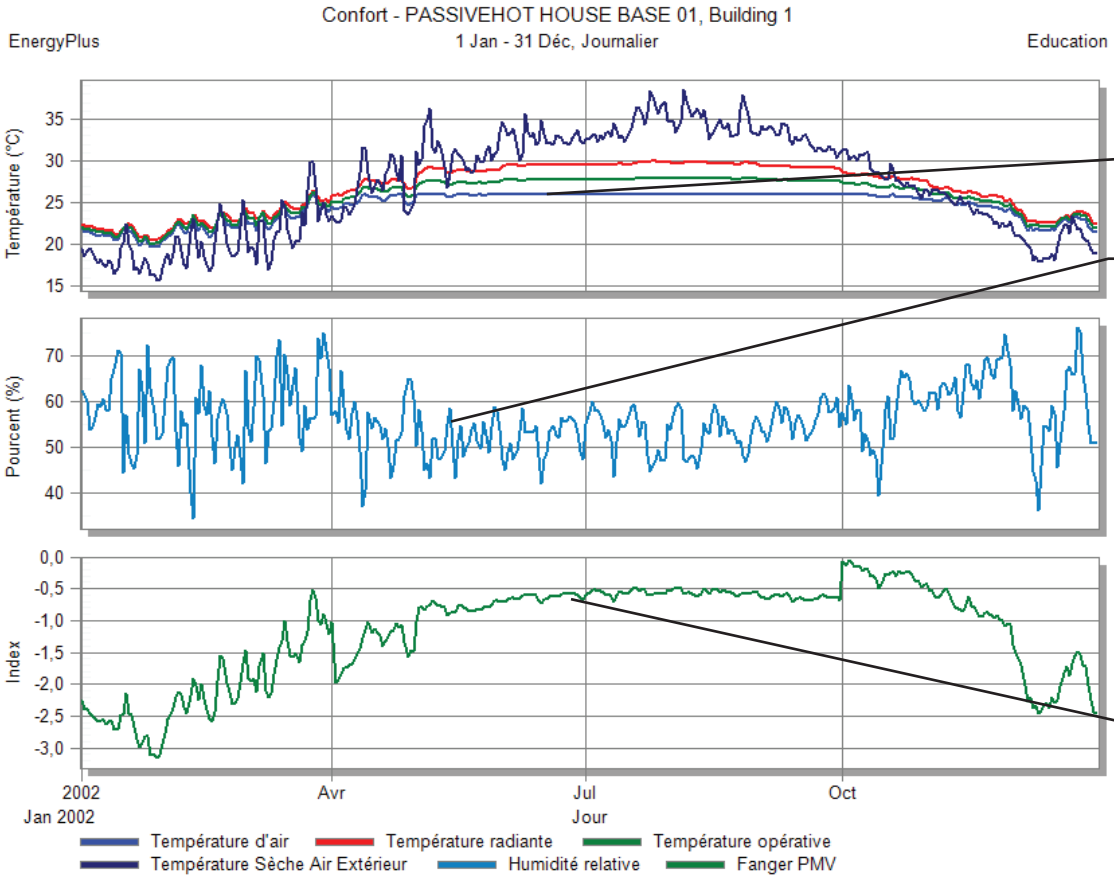
*Les apports solaires montrent, sur les ouvertures vitrées, deux phénomènes : le premier est, suite à l'augmentation de la couverture nuageuse dans les mois froids, les journées ont des apports solaires nettement inférieurs au maximum de la saison. Le deuxième phénomène est que le soleil étant plus bas il atteint davantage l'intérieur du logement compensant la perte de puissance solaire qui devrait réduire les apports durant les saisons froides. Ainsi les apports radiatifs solaires par les fenêtres varient tout légèrement entre l'été et l'hiver étant plus importants en hiver. Les apports caloriques par les infiltrations dépassent pendant les mois chauds les apports faits par les fenêtres et pendant les mois froids rafraîchissent davantage le bâtiment le soir, alors que cela peut ne pas être souhaitable. La ventilation extérieure est très importante pendant les mois d'hiver et nulle en été. La valeur du PMV s'améliore pendant les mois d'été malgré les températures élevées, et se dégrade en hiver, cette valeur du PMV est faussée par l'usage intensif de la climatisation mais est tout de même surprenant. Les humidités relatives sont, pendant les mois froids, très fluctuantes jour/nuit avec des valeurs extrêmes plus importantes que pendant les mois chauds. Les consommations se multiplient par 75 entre les pics maximales de l'été et l'hiver*




*La valeur de la vitesse du vent reste stable avec des valeurs entre 10 et 30km/h*

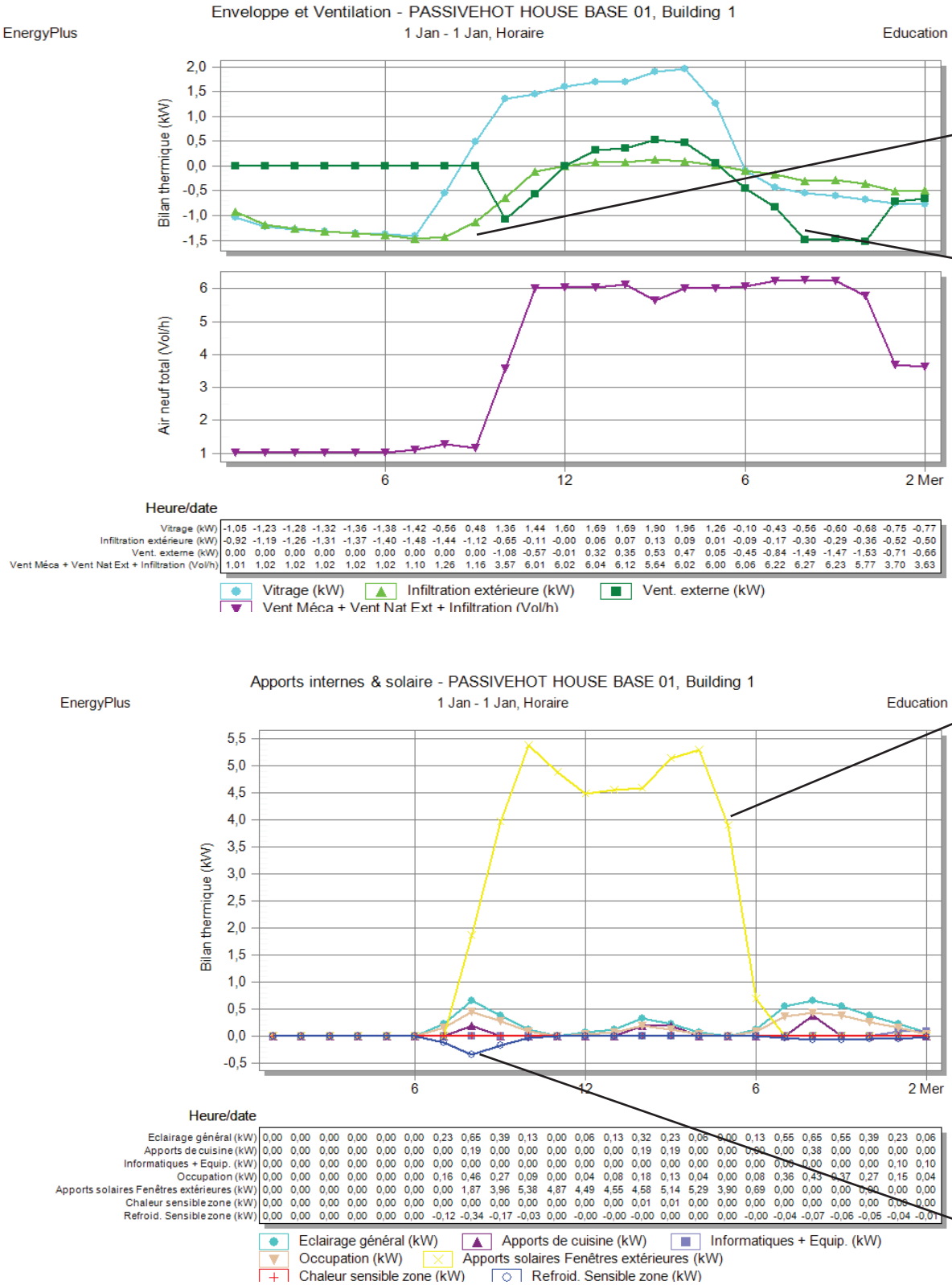
*Les valeurs de la radiation solaire diffuse horizontale montrent bien les mois/ saisons les plus nuageuses et comment cela interfère dans l'ensoleillement directe normale. Ce sont la période de février à mai qui montre les ciels les plus couverts*

*Les mois chauds de mai a octobre montrent comme la température intérieure est complètement déconnectée de la température extérieure. Par contre pendant les mois froids, la variation de température extérieure est clairement couplée au comportement de la température de l'intérieure de la maison. Ce couplage est dû en grande partie a la conduction dans les murs et a la ventilation naturelle*




*En été l'humidité de Dubaï se ressemble beaucoup a celle d'un pays peu humide, par contre en hiver les caractéristiques de région humide reviennent. Les valeurs de cette graphe sont des valeurs moyens journaliers, mais les valeurs extrêmes sont plus importantes. Elles sont a voir dans les graphiques par jour type.*

*Paradoxalement les meilleurs résultats PMV sont attendus en été. Ceci est dû par la maîtrise des paramètres de confort des installations d'air conditionné.*




*Les fuites provoquent des déperditions de chaleur non souhaitées pendant les heures de nuit où la température descend sous le seuil de confort d'hiver*

*La ventilation sanitaire vers l'extérieur, provoque des pertes pendant les heures froides et des gaines pendant la journée.*

*Les fenêtres sont la source principale de l'apport solaire de toutes les journées type. Cette forme caractéristique à deux pics correspond aux moments de forte radiation par les ouvertures E et O, alors que au S la existence des casquettes fait descendre les apports de la mi-journée*

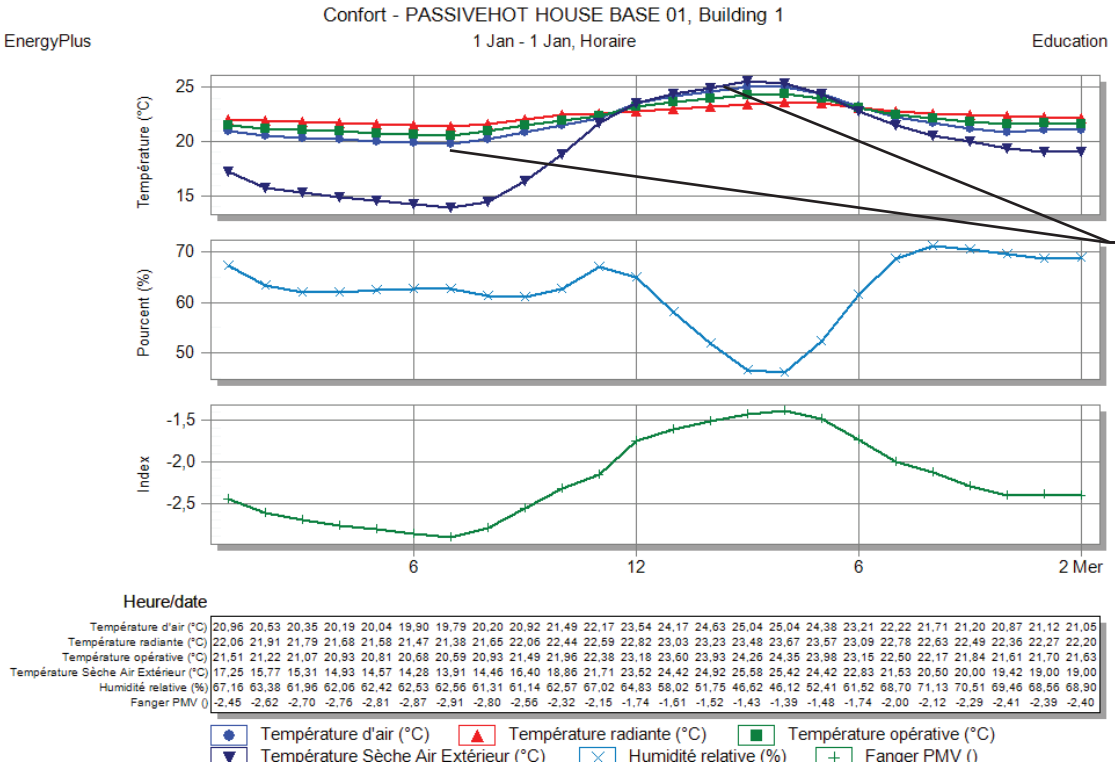



*Autres sources de chaleur dans les moments de haute activité font monter la température localement ce qui semble être la raison d'un besoin de refroidissement. Ce besoin de refroidissement peut paraître surprenant à la vue des températures intérieures fraîches, cependant, il est du au système PID (proportional integral derivate) qui intègrent les équipements de climatisation et qui la active en prévision d'une possible augmentation des charges thermiques au vue des gradients d'augmentation*

*Figure 4-20 Graphiques du comportement thermique et de la consommation de la journée type S2*

## Comportement Journée type S2 : 1 Janvier 2002

*Le S2 est un jour frais, très tard le soir et avant le lever du soleil les températures sont froides, en dessous de 15ºC, mais le reste de la journée elle présente une température agréable où on est bien dehors. La température du point de rosée est sous 15ºC aussi presque toute la journée, facile de se refroidir, pas de risque de surchauffe. Le vent commence au Sud-Est et tourne à la mi-journée vers le Nord-Ouest. Le soleil est principalement en rayonnement direct, 80%, et faiblement en diffus 20%. Les températures intérieures, sont entre 20ºC et 25ºC, complètement intégrées dans le fuseau du confort standard. La valeur de l'humidité relative extérieur, HR, reste dans la limite du confort acceptable, et donc la maison ne devra pas consommer en deshumidification. Le PMV est de -2,8, particulièrement la nuit : les fuseaux sont confortables mais proches des limites, ce qui peut créer par rapprochement, des sensations théoriques d'inconfort. Les apports thermiques sont faits très majoritairement par les vitrages avec un petit apport par ventilation extérieure à la mi-journée. La nuit, les vitrages et l'enveloppe sont déperditifs. La ventilation naturelle est très forte dès que la température extérieure est agréable. L'éclairage devient l'élément le plus consommateur d'électricité, face aux faibles besoins thermiques par ailleurs.*

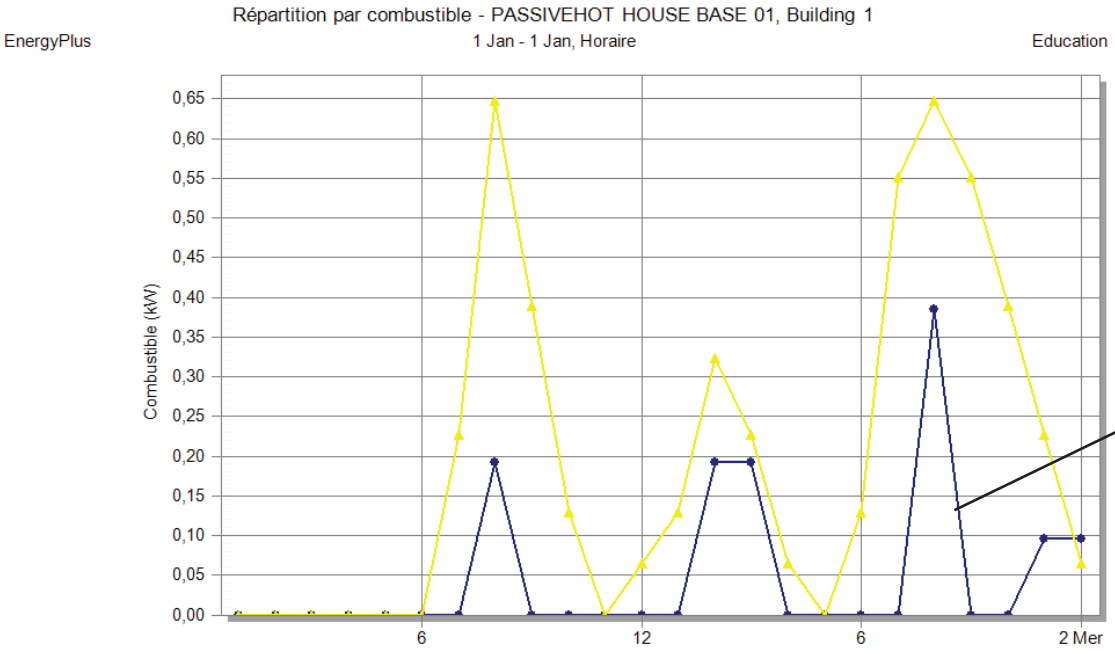



Heure/date

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Température d'air (°C) | 20,96 | 20,53 | 20,35 | 20,19 | 20,04 | 19,90 | 19,79 | 20,20 | 20,92 | 21,49 | 22,17 | 23,54 | 24,17 | 24,63 | 25,04 | 25,04 | 24,38 | 23,21 | 22,22 | 21,71 | 21,20 | 20,87 | 21,12 | 21,05 |
| Température radiante (°C) | 22,06 | 21,91 | 21,79 | 21,68 | 21,58 | 21,47 | 21,38 | 21,65 | 22,06 | 22,44 | 22,59 | 22,82 | 23,03 | 23,23 | 23,48 | 23,67 | 23,57 | 23,09 | 22,78 | 22,63 | 22,49 | 22,36 | 22,27 | 22,20 |
| Température opérative (°C) | 21,51 | 21,22 | 21,07 | 20,93 | 20,81 | 20,68 | 20,59 | 20,93 | 21,49 | 21,96 | 22,38 | 23,18 | 23,60 | 23,93 | 24,26 | 24,35 | 23,98 | 23,15 | 22,50 | 22,17 | 21,84 | 21,61 | 21,70 | 21,63 |
| Température Sèche Air Extérieur (°C) | 17,25 | 15,77 | 15,31 | 14,93 | 14,57 | 14,28 | 13,91 | 14,46 | 15,40 | 16,86 | 21,71 | 23,52 | 24,42 | 24,92 | 25,58 | 25,42 | 24,42 | 22,83 | 21,53 | 20,50 | 20,00 | 19,42 | 19,00 | 19,00 |
| Humidité relative (%) | 67,16 | 63,38 | 61,96 | 62,06 | 62,42 | 62,53 | 62,56 | 61,31 | 61,14 | 62,57 | 67,02 | 64,83 | 58,02 | 51,75 | 46,62 | 46,12 | 52,41 | 61,52 | 68,70 | 71,13 | 70,51 | 69,46 | 68,56 | 68,90 |
| Fanger PMV () | -2,45 | -2,62 | -2,70 | -2,76 | -2,81 | -2,87 | -2,91 | -2,80 | -2,56 | -2,32 | -2,15 | -1,74 | -1,61 | -1,52 | -1,43 | -1,39 | -1,48 | -1,74 | -2,00 | -2,12 | -2,29 | -2,41 | -2,39 | -2,40 |

Température d'air (°C) Température radiante (°C) Température opérative (°C)
Température Sèche Air Extérieur (°C) Humidité relative (%) Fanger PMV ()

*Les valeurs de la température intérieure frôlent les deux seuils de confort bas (tôt le matin) et haut (milieu de l'après-midi) ce qui montre que la maison est en légère tension de maintien de la température intérieure pour rester dans les seuils de confort. La température extérieure de l'air sec ne dépasse pas les seuils de confort intérieur mais avec les apports solaires par les fenêtres, l'énergie stockée n'est pas négligeable et cela demande une évacuation vers l'extérieur de la chaleur avec un éventuel usage de la climatisation*

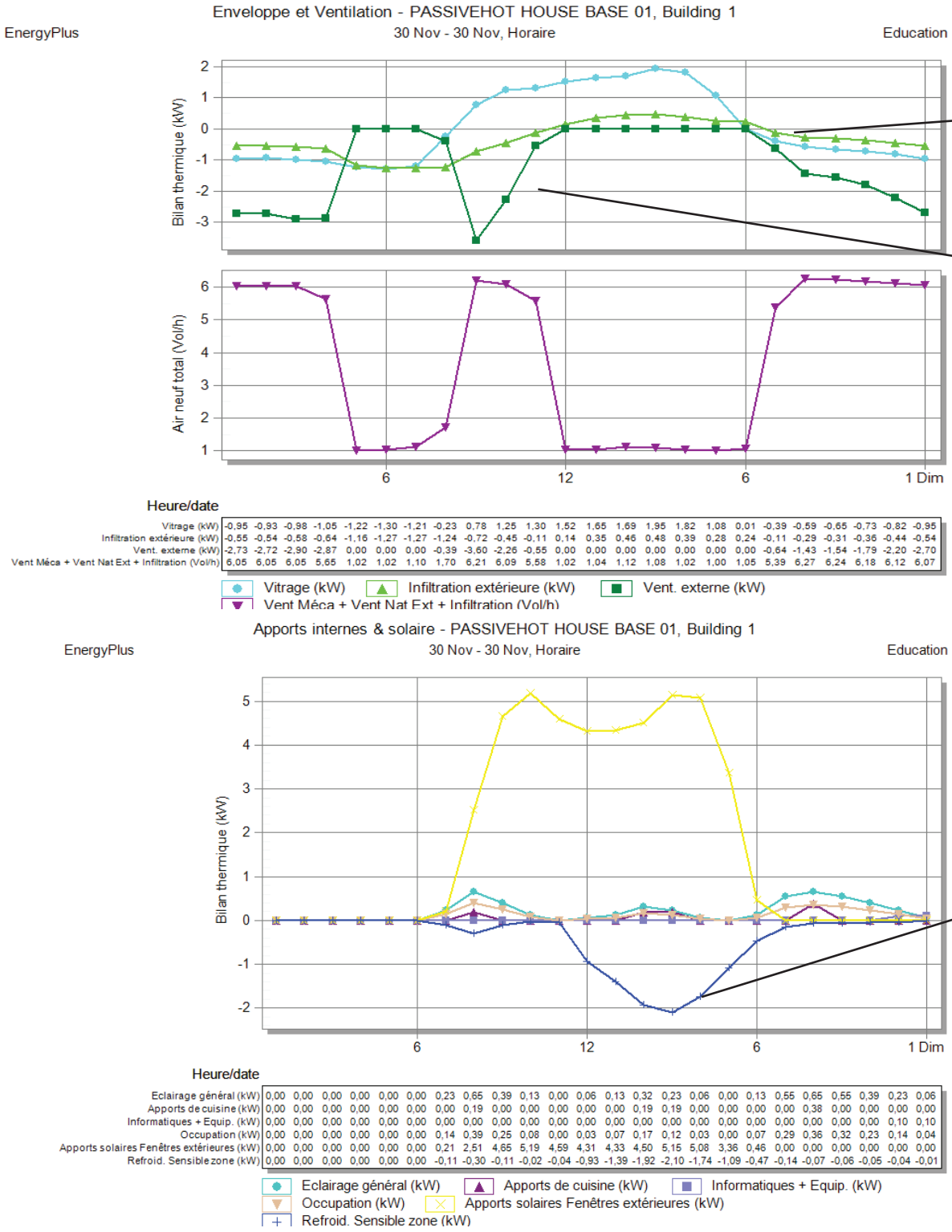



Heure/date

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Electricité pour la zone (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,38 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,10 |
| Eclairage (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,23 | 0,65 | 0,39 | 0,13 | 0,00 | 0,06 | 0,13 | 0,32 | 0,23 | 0,06 | 0,00 | 0,13 | 0,55 | 0,65 | 0,55 | 0,39 | 0,23 | 0,06 |

Electricité pour la zone (kW) Eclairage (kW)

*Les consommations par éclairage dans cette saisons sont égales a toute les autres journée type, mais la consommation due au chauffage-climatisation est nettement inférieure à toutes les autres journées types, restant même en dessous des consommations dues à l'éclairage*




*Les fuites provoquent une évacuation bénéfique de la chaleur par l'enveloppe et les fenêtres*

*La ventilation s'arrête de lorsque nous dépassons la température du seuil supérieur, 26ºC, ceci provoque un arrêt dans l'évacuation de l'air et oblige a utiliser la climatisation pour refroidir*




*Les apports solaires avec une intensité similaire a celle de S2 créent un besoin de refroidissement plus important que en S2. Le fait que la nuit ne permet pas aussi facilement la décharge thermique, la masse thermique de la maison est plus chaude a l'aube que en S2 ce oblige a la maison a utiliser la climatisation d'avantage pour faire face aux apports solaires*

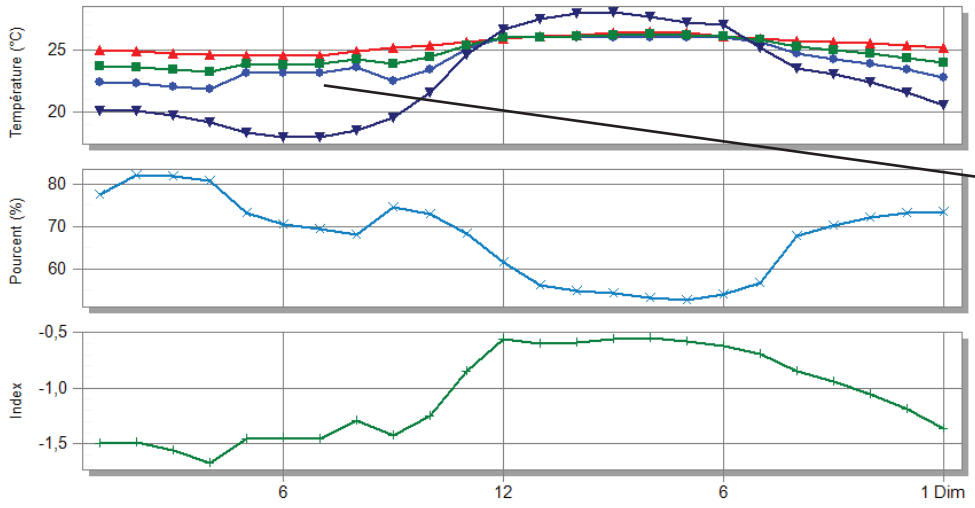
*Figure 4-21 Graphiques du comportement thermique et de la consommation de la journée type S3*

## Comportement Journée type S3 : 30 Novembre 2002

*Le S3 est un jour tempéré, très tard le soir et avant le lever du soleil les températures sont fraîches, 18ºC à 6h, le reste de la journée la température dehors est agréable. Nous frôlons l'inconfort, à 28ºC à 15h. La maison est climatisée entre 12h et 18h30. La température du point de rosé est entre 17ºC et 18ºC, donc l'humidité associé aux températures commence à s'approcher de la limite du confort. Le vent vient du Sud-Est et à partir de la mi-journée Nord-Ouest à 4 m/s. Le soleil en rayonnement direct, 80%, en diffus 20%. Les températures intérieures, démarrent à 24ºC et entre 12h et 18h elles restent à 26ºC ( sous l'effet de la climatisation). La %HR est très haute pendant la nuit, supérieure à 85% et au petit matin, elle devient acceptable après 6h et jusqu'au 21h, et donc la maison ne devra pas consommer en des-humidification. Le PMV est au plus bas, -1,5, la nuit. Les apports thermiques sont faits très majoritairement par les vitrages avec un apport par ventilation extérieure le matin et en fin d'après-midi lorsque que les températures sont acceptables. La nuit les vitrages et l'enveloppe, par infiltration, sont déperditifs. La ventilation naturelle est très forte dès que la température extérieure est agréable. L'éclairage reste stable, 0,6kw en valeur du pic journalier, mais très faible en comparaison aux besoins thermiques, 4 kW, en valeur du pic journalier.*

Confort - PASSIVEHOT HOUSE BASE 01, Building 1

EnergyPlus — 30 Nov - 30 Nov, Horaire — Education




Heure/date

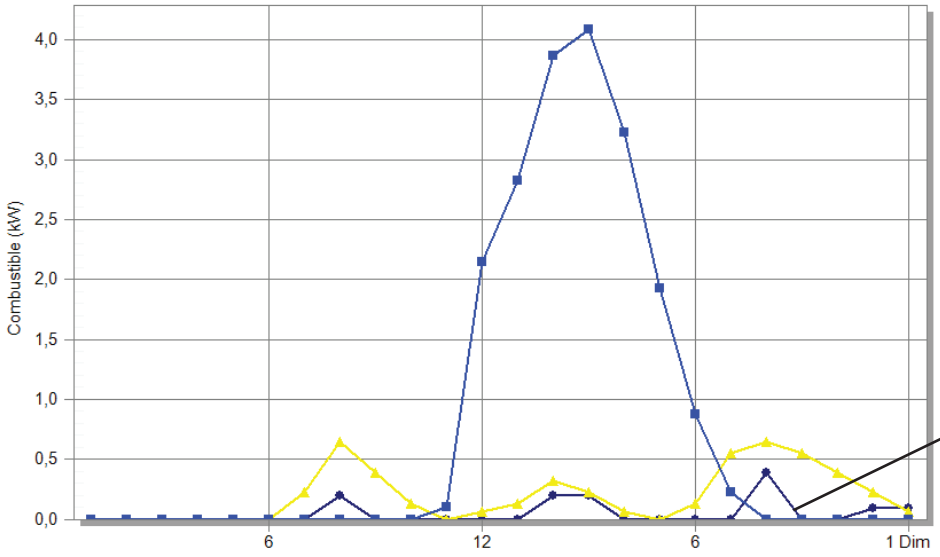
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Température d'air (°C) | 22,38 | 22,29 | 22,06 | 21,81 | 23,10 | 23,10 | 23,13 | 23,59 | 22,50 | 23,41 | 25,06 | 26,00 | 26,00 | 26,00 | 26,00 | 26,00 | 26,00 | 26,00 | 25,64 | 24,72 | 24,27 | 23,85 | 23,37 | 22,76 |
| Température radiante (°C) | 24,94 | 24,83 | 24,71 | 24,56 | 24,55 | 24,54 | 24,53 | 24,91 | 25,15 | 25,37 | 25,62 | 25,87 | 26,03 | 26,17 | 26,37 | 26,48 | 26,39 | 26,07 | 25,88 | 25,72 | 25,60 | 25,48 | 25,33 | 25,15 |
| Température opérative (°C) | 23,66 | 23,56 | 23,38 | 23,19 | 23,83 | 23,82 | 23,83 | 24,25 | 23,83 | 24,39 | 25,34 | 25,94 | 26,02 | 26,09 | 26,18 | 26,24 | 26,19 | 26,03 | 25,76 | 25,22 | 24,94 | 24,67 | 24,35 | 23,95 |
| Température Sèche Air Extérieur (°C) | 20,16 | 20,08 | 19,71 | 19,21 | 18,42 | 18,00 | 18,00 | 18,58 | 19,58 | 21,58 | 24,63 | 26,58 | 27,47 | 27,92 | 28,00 | 27,65 | 27,17 | 27,00 | 25,19 | 23,55 | 23,01 | 22,39 | 21,58 | 20,56 |
| Humidité relative (%) | 77,53 | 82,13 | 81,74 | 80,84 | 73,24 | 70,58 | 69,40 | 68,08 | 74,63 | 72,94 | 68,26 | 61,57 | 56,17 | 54,93 | 54,24 | 53,35 | 52,68 | 54,09 | 56,76 | 67,86 | 70,22 | 72,20 | 73,16 | 73,61 |
| Fanger PMV () | -1,50 | -1,49 | -1,56 | -1,67 | -1,46 | -1,44 | -1,46 | -1,29 | -1,42 | -1,25 | -0,85 | -0,56 | -0,60 | -0,59 | -0,56 | -0,55 | -0,58 | -0,62 | -0,70 | -0,84 | -0,95 | -1,05 | -1,19 | -1,37 |

Température d'air (°C) — Température radiante (°C) — Température opérative (°C)
Température Sèche Air Extérieur (°C) — Humidité relative (%) — Fanger PMV ()

*Les valeurs de la température intérieure frôlent le seuil de confort haut (milieu de l'après-midi) ce qui montre que la maison est en légère tension de maintien de la température intérieure pour rester dans le seuil de confort face a la chaleur. La température extérieure de l'air sec dépasse très légèrement le seuil supérieur du confort intérieur et avec les apports solaires par les fenêtres, l'énergie reçue demande une évacuation vers l'extérieur de la chaleur avec un recours à la climatisation*

Répartition par combustible - PASSIVEHOT HOUSE BASE 01, Building 1

EnergyPlus — 30 Nov - 30 Nov, Horaire — Education

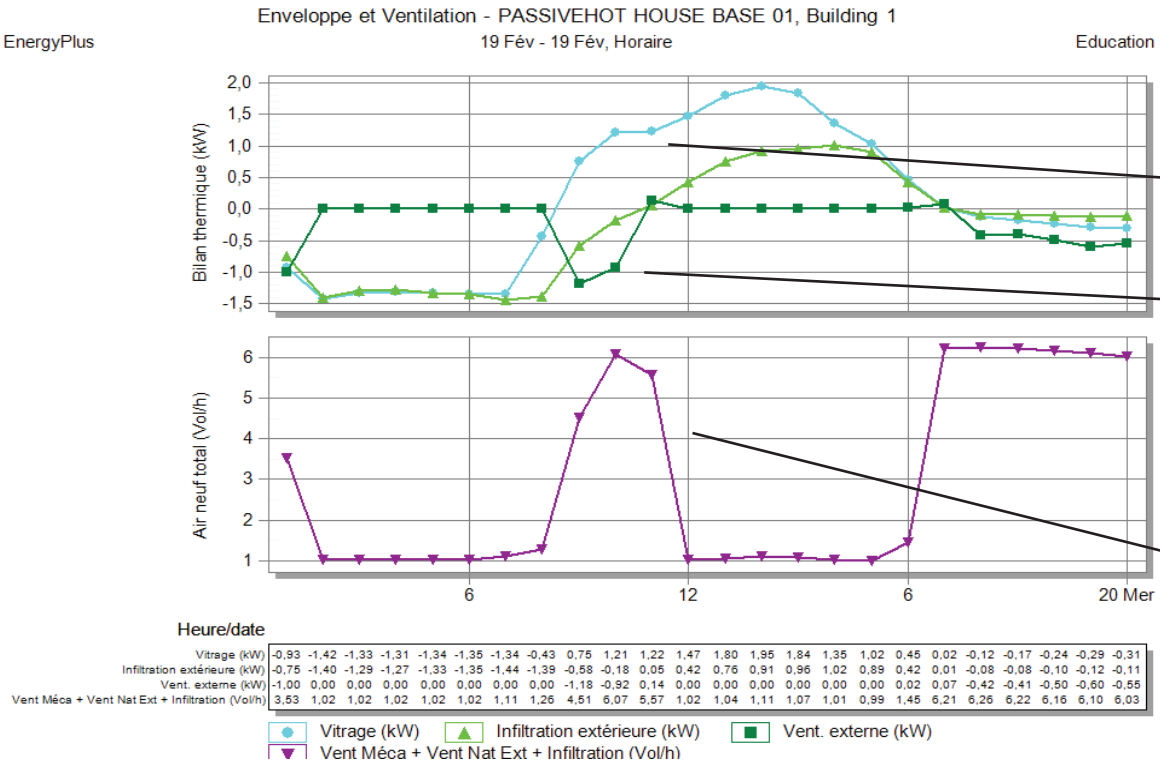



Heure/date

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Electricité pour la zone (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,38 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,10 |
| Eclairage (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,23 | 0,65 | 0,39 | 0,13 | 0,00 | 0,06 | 0,13 | 0,32 | 0,23 | 0,06 | 0,00 | 0,13 | 0,55 | 0,65 | 0,55 | 0,39 | 0,23 | 0,06 |
| Climatisation (Electricité) (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 2,14 | 2,82 | 3,86 | 4,09 | 3,23 | 1,92 | 0,88 | 0,23 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Electricité pour la zone (kW) — Eclairage (kW) — Climatisation (Electricité) (kW)

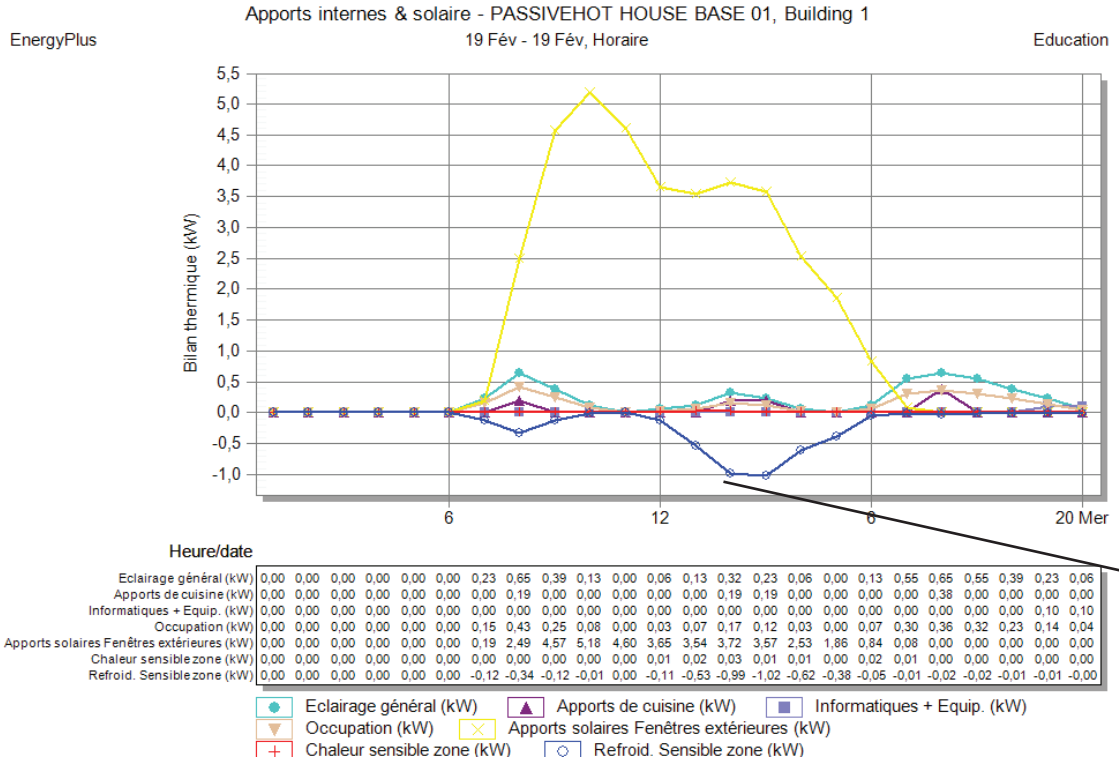
*Les consommations par éclairage dans cette saisons sont égales a toute les autres journée type, et la consommation due à la climatisation est nettement supérieure à la journée type S2, bien en dessus aux consommations dues à l'éclairage. Le dépassement de la température du seuil supérieur et la conséquente surconsommation énergétique*




*Les fuites provoquent une évacuation bénéfique de la chaleur la nuit par l'enveloppe et les fenêtres. Par contre pendant la journée elles apportent à nouveau de la gain énergétique non souhaitée*

*La ventilation naturelle dans cette journée est très réduite : elle ne se déclenche que dans le créneau où la température extérieure de l'air sec est dans le seuil de confort.*

*Le renouvellement de l'air est important pendant les moments ou la maison peut ventiler, et il reste au minimum sanitaire lorsque les températures extérieures ne le permettent pas*

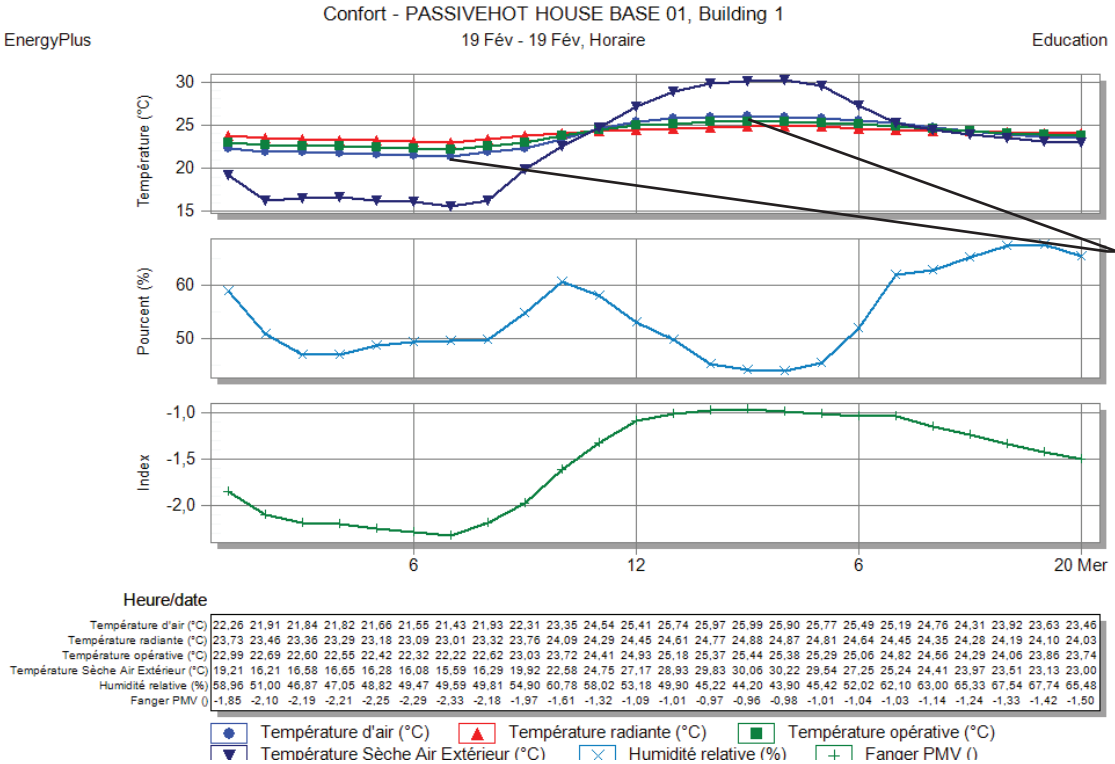



*Les apports solaires avec une intensité légèrement supérieure à celle des jours S2 et S3 créent un besoin de refroidissement qui est compensé par la masse refroidie de la maison. La valeur des temperatures radiantes des murs sont 1ºC plus basses que au S3 pendant les premières heures de la journée. Cependant il y a toujours de besoins ponctuelles de refroidissement autour les pics d'activité du matin et du midi.*

*Figure 4-22 Graphiques du comportement thermique et de la consommation de la journée type S4*

## Comportement Journée type S4 : 19 Février 2002

*Le S4 est un jour extrême, froid et chaud, très tard le soir les températures sont froides, 16ºC à 6h, et en dehors du seuil de confort, à 30ºC à 15h. La maison est climatisée entre 12h et 18h. La température du point de rosée est basse entre 11ºC et 17ºC, faible humidité. Le vent souffle du SSE à 7m/s et à partir de 18h du NNO à 4m/s : variations plus importantes de direction et vitesse. Le soleil en rayonnement direct, 80%, en diffus 20%. Les températures intérieures, démarrent à 23ºC et entre 12h et 18h elles restent à 26ºC (sous l'effet de la climatisation). La HR est acceptable toute la journée, et donc la maison ne devra pas consommer en deshumidification. Le PMV est au plus bas, -2,33, à 7h. Les apports thermiques sont faits très majoritairement par les vitrages avec un apport par infiltration entre 12h et 18h, la nuit, il y a des déperditions de chaleur importantes aussi par infiltration. La ventilation naturelle est très forte des que la température extérieure est agréable. L'éclairage reste stable, 0,6kw en valeur du pic journalier, mais moins important que les besoins thermiques, 1,4 kW en valeur du pic journalier. Les besoins thermiques du S4 sont moins importantes que celles du S3, 4 kW, car la maison démarre la journée très fraîche en comparaison à S3.*

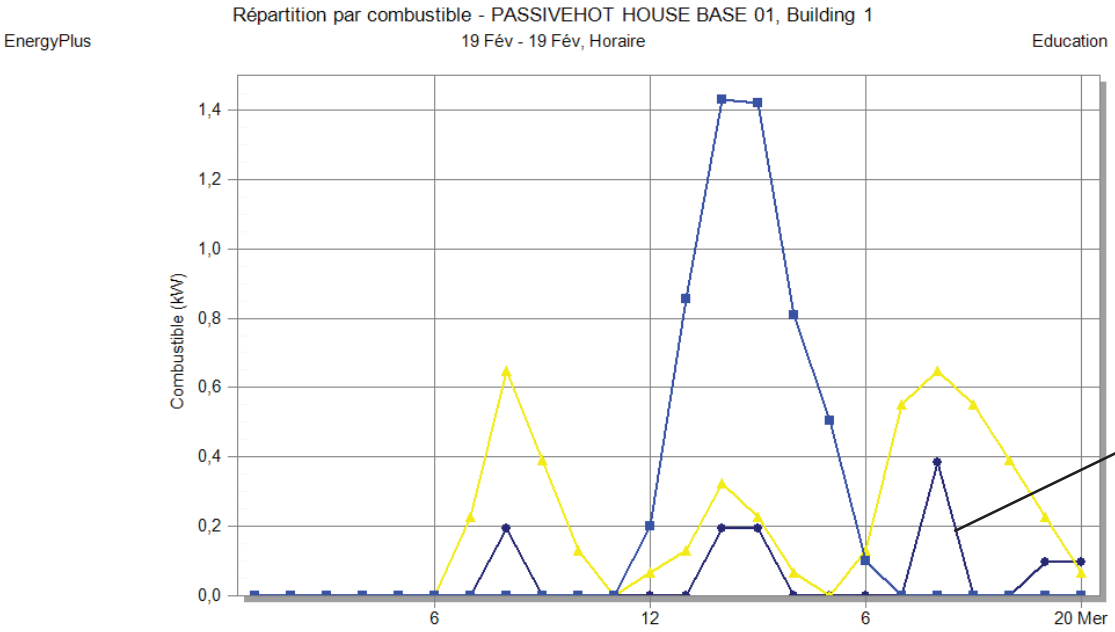



Heure/date

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Température d'air (°C) | 22,26 | 21,91 | 21,84 | 21,82 | 21,66 | 21,55 | 21,43 | 21,93 | 22,31 | 23,35 | 24,54 | 25,41 | 25,74 | 25,97 | 25,99 | 25,90 | 25,77 | 25,49 | 25,19 | 24,76 | 24,31 | 23,92 | 23,63 | 23,45 |
| Température radiante (°C) | 23,73 | 23,46 | 23,36 | 23,29 | 23,18 | 23,09 | 23,01 | 23,32 | 23,76 | 24,09 | 24,29 | 24,45 | 24,61 | 24,77 | 24,88 | 24,87 | 24,81 | 24,64 | 24,45 | 24,35 | 24,28 | 24,19 | 24,10 | 24,03 |
| Température opérative (°C) | 22,99 | 22,69 | 22,60 | 22,55 | 22,42 | 22,32 | 22,22 | 22,62 | 23,03 | 23,72 | 24,41 | 24,93 | 25,18 | 25,37 | 25,44 | 25,38 | 25,29 | 25,06 | 24,82 | 24,56 | 24,29 | 24,06 | 23,86 | 23,74 |
| Température Sèche Air Extérieur (°C) | 19,21 | 16,21 | 16,58 | 16,65 | 16,28 | 16,08 | 15,59 | 16,29 | 19,92 | 22,58 | 24,75 | 27,17 | 28,93 | 29,83 | 30,06 | 30,22 | 29,54 | 27,25 | 25,24 | 24,41 | 23,97 | 23,51 | 23,13 | 23,00 |
| Humidité relative (%) | 58,96 | 51,00 | 46,87 | 47,05 | 48,82 | 49,47 | 49,59 | 49,81 | 54,90 | 60,78 | 58,02 | 53,18 | 49,90 | 45,22 | 44,20 | 43,90 | 45,42 | 52,02 | 62,10 | 63,00 | 65,33 | 67,54 | 67,74 | 65,48 |
| Fanger PMV () | -1,85 | -2,10 | -2,19 | -2,21 | -2,25 | -2,29 | -2,33 | -2,18 | -1,97 | -1,61 | -1,32 | -1,09 | -1,01 | -0,97 | -0,96 | -0,98 | -1,01 | -1,04 | -1,03 | -1,14 | -1,24 | -1,33 | -1,42 | -1,50 |

Température d'air (°C) Température radiante (°C) Température opérative (°C)
Température Sèche Air Extérieur (°C) Humidité relative (%) Fanger PMV ()

*Malgré que les valeurs de la température extérieure de l'air sec dépasse largement les seuils de confort intérieur, la température intérieure ne descend pas en dessous de 21°C. Ceci est due au fait qu'elle arrive en fin de journée très chargée en énergie et que la décharge nocturne n'arrive pas a évacuer assez d'énergie. Les températures radiantes des parois sont plus basses que celles de la journée S3, a cause des basses températures nocturnes.*

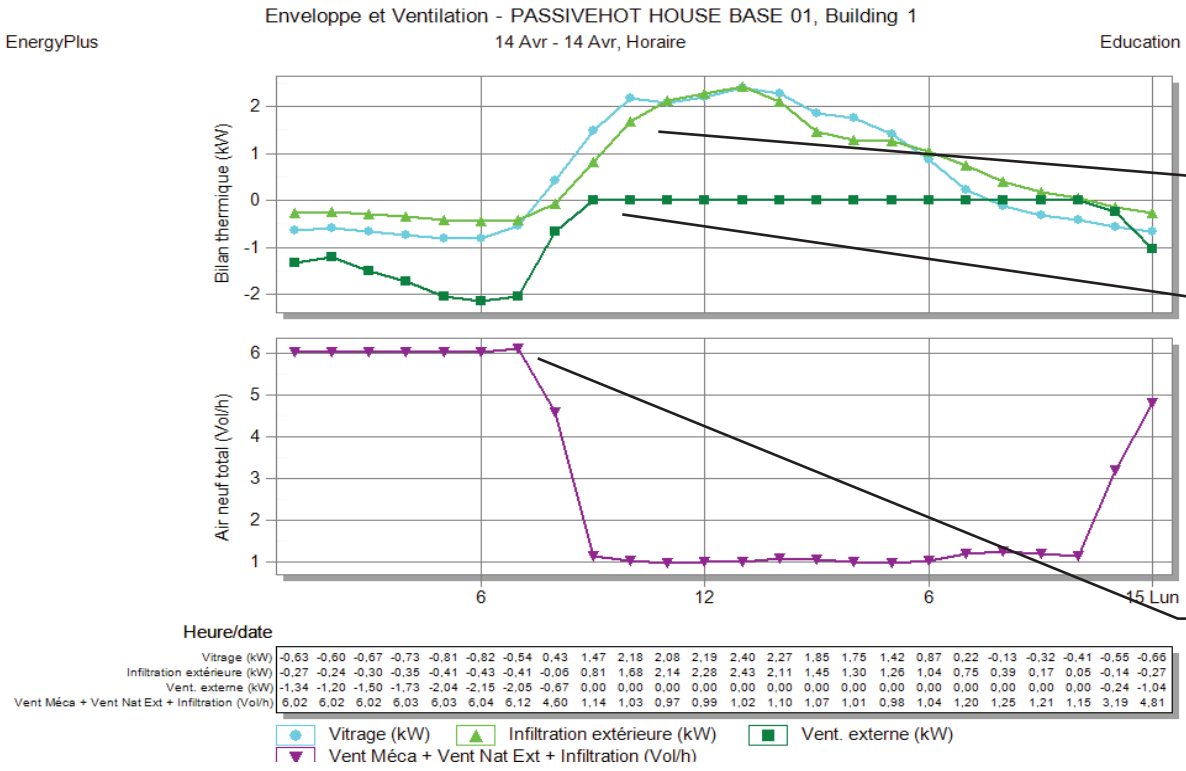



Heure/date

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Electricité pour la zone (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,38 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,10 |
| Eclairage (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,23 | 0,65 | 0,39 | 0,13 | 0,00 | 0,06 | 0,13 | 0,32 | 0,23 | 0,06 | 0,00 | 0,13 | 0,55 | 0,65 | 0,55 | 0,39 | 0,23 | 0,06 |
| Climatisation (Electricité) (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,20 | 0,85 | 1,43 | 1,42 | 0,81 | 0,50 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Electricité pour la zone (kW) Eclairage (kW) Climatisation (Electricité) (kW)

*Les consommations énergétiques due à la climatisation sont inférieures à la journée type S3. Le refroidissement de la maison pendant la nuit est la cause principale des besoins moindres en énergie que la journée S3.*




*Les fuites provoquent une évacuation bénéfique de la chaleur la nuit par l'enveloppe et les fenêtres. Par contre pendant la journée elles apportent à nouveau de la gain énergétique non souhaitée*

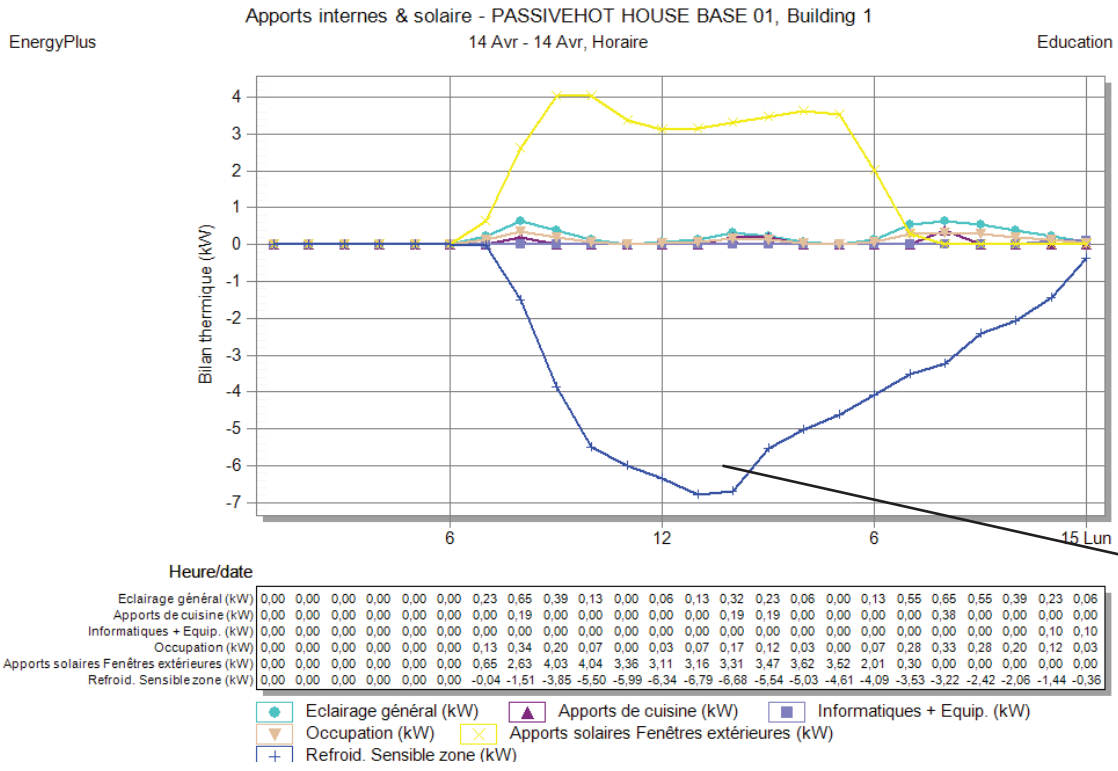
*La ventilation naturelle dans cette journée dure toute la nuit et s'arrête lorsque les températures extérieures dépassent le seuil de confort de 26ºC*

*Le renouvellement de l'air est important pendant les moments ou la maison peut ventiler, et il reste au minimum sanitaire lorsque les températures extérieures ne le permettent pas*

Heure/date

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vitrage (kW) | -0,63 | -0,60 | -0,67 | -0,73 | -0,81 | -0,82 | -0,54 | 0,43 | 1,47 | 2,18 | 2,08 | 2,19 | 2,40 | 2,27 | 1,85 | 1,75 | 1,42 | 0,87 | 0,22 | -0,13 | -0,32 | -0,41 | -0,55 | -0,66 |
| Infiltration extérieure (kW) | -0,27 | -0,24 | -0,30 | -0,35 | -0,41 | -0,43 | -0,41 | -0,06 | 0,81 | 1,68 | 2,14 | 2,28 | 2,43 | 2,11 | 1,45 | 1,30 | 1,26 | 1,04 | 0,75 | 0,39 | 0,17 | 0,05 | -0,14 | -0,27 |
| Vent. externe (kW) | -1,34 | -1,20 | -1,50 | -1,73 | -2,04 | -2,15 | -2,05 | -0,67 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,24 | -1,04 |
| Vent Méca + Vent Nat Ext + Infiltration (Vol/h) | 6,02 | 6,02 | 6,02 | 6,03 | 6,03 | 6,04 | 6,12 | 4,60 | 1,14 | 1,03 | 0,97 | 0,99 | 1,02 | 1,10 | 1,07 | 1,01 | 0,98 | 1,04 | 1,20 | 1,25 | 1,21 | 1,15 | 3,19 | 4,81 |

Vitrage (kW) | Infiltration extérieure (kW) | Vent. externe (kW) | Vent Méca + Vent Nat Ext + Infiltration (Vol/h)




*Les apports solaires avec une intensité similaire à celle des jours S2 et S3 créent un besoin de refroidissement important car la maison a peu de marge de refroidissement par la masse thermique. La valeur des températures radiantes des murs sont 3ºC plus importantes que S4. La maison ne dépense pas de l'énergie de refroidissement pendant la nuit.*

Heure/date

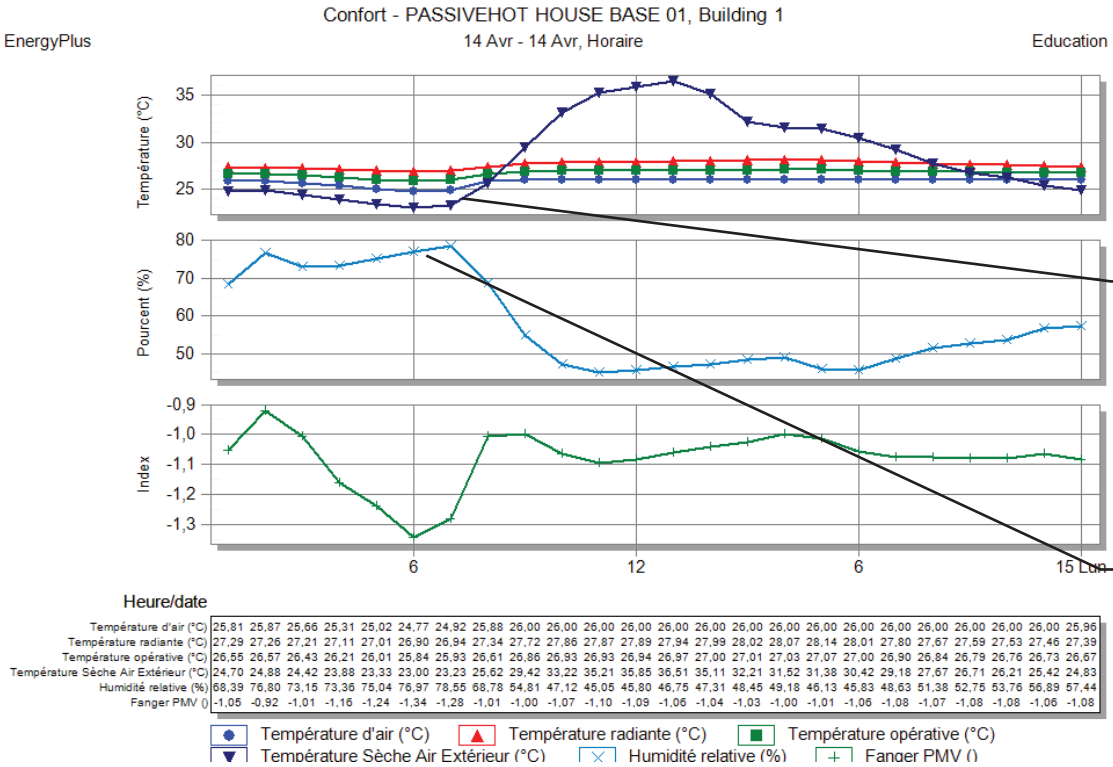
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Eclairage général (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,23 | 0,65 | 0,39 | 0,13 | 0,00 | 0,06 | 0,13 | 0,32 | 0,23 | 0,06 | 0,00 | 0,13 | 0,55 | 0,65 | 0,55 | 0,39 | 0,23 | 0,06 |
| Apports de cuisine (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,38 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Informatiques + Equip. (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,10 |
| Occupation (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,13 | 0,34 | 0,20 | 0,07 | 0,00 | 0,03 | 0,07 | 0,17 | 0,12 | 0,03 | 0,00 | 0,07 | 0,28 | 0,33 | 0,28 | 0,20 | 0,12 | 0,03 |
| Apports solaires Fenêtres extérieures (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,65 | 2,63 | 4,03 | 4,04 | 3,36 | 3,11 | 3,16 | 3,31 | 3,47 | 3,62 | 3,52 | 2,01 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Refroid. Sensible zone (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,04 | -1,51 | -3,85 | -5,50 | -5,99 | -6,34 | -6,79 | -6,68 | -6,54 | -5,03 | -4,61 | -4,09 | -3,53 | -3,22 | -2,42 | -2,06 | -1,44 | -0,36 |

Eclairage général (kW) | Apports de cuisine (kW) | Informatiques + Equip. (kW) | Occupation (kW) | Apports solaires Fenêtres extérieures (kW) | Refroid. Sensible zone (kW)

*Figure 4-23 Graphiques du comportement thermique et de la consommation de la journée type S5*

## Comportement Journée type S5 : 14 Avril 2002

*Le S5 est un jour chaud, les températures sont agréables pendant la nuit, 23ºC à 6h, et montent rapidement en dehors du seuil de confort, à 36ºC à 13h. La maison est climatisée entre 7h et 24h. La température du point de rosée est haute pendant la nuit dépassant parfois les 21ºC à 2h, et paradoxalement plus basse pendant la journée, 15ºC à 10h et 17ºC à 13h, le moment le plus chaud, donc on peut dire que restant à l'ombre, nous ressentons plus le chaud la nuit que le jour. Le vent souffle comme en S4. Le soleil est aussi important en rayonnement direct, 45%, qu'en diffus. Les températures intérieures, démarrent à 26ºC et dépassent 27ºC plus tard dans la journée. La HR est légèrement au dessus des limites, 75%HR, pendant la nuit, et ne dépasse 50%HR pendant la journée. Le PMV est au plus bas, -1,3, à 6h. Les apports thermiques se font autant par les vitrages que par l'infiltration, la nuit les déperditions de chaleur importantes se font par ventilation extérieure. La nuit, les vitrages et l'enveloppe sont déperditifs. La ventilation naturelle est très forte pendant la nuit. L'éclairage reste stable à 0,6 kW en valeur du pic journalier, et les besoins thermiques, 11 kW en valeur du pic journalier.*



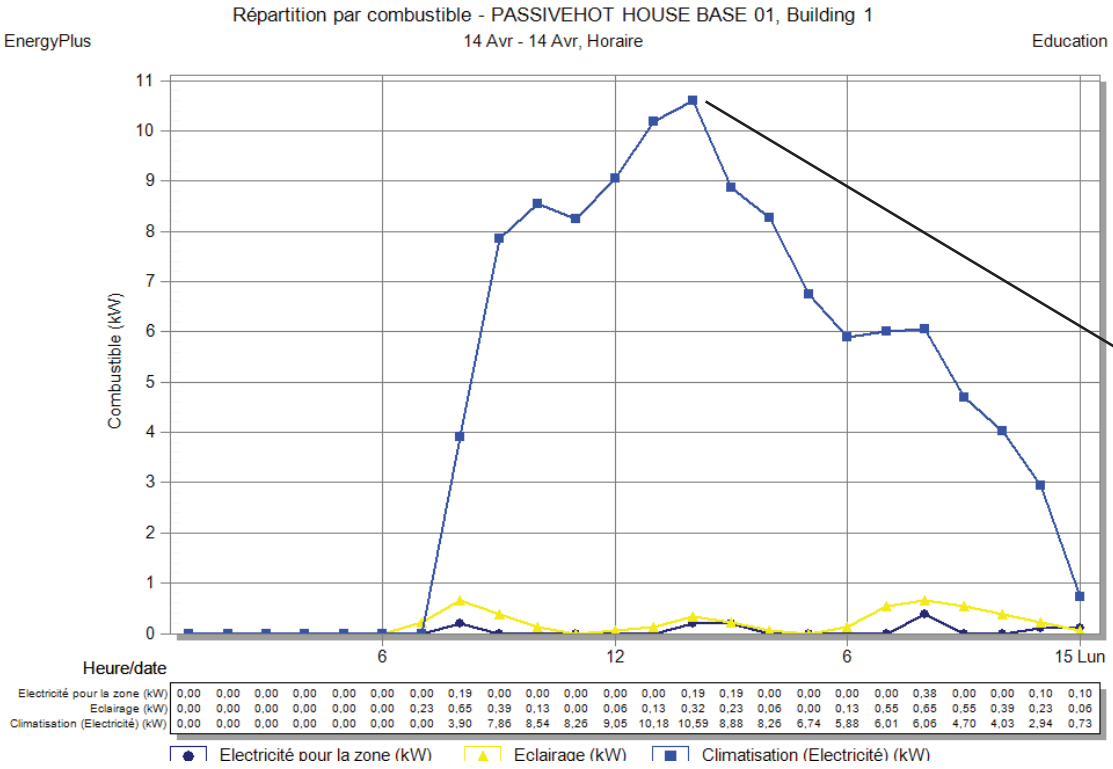

Heure/date

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Température d'air (°C) | 25,81 | 25,87 | 25,66 | 25,31 | 25,02 | 24,77 | 24,92 | 25,88 | 26,00 | 26,00 | 26,00 | 26,00 | 26,00 | 26,00 | 26,00 | 26,00 | 26,00 | 26,00 | 26,00 | 26,00 | 26,00 | 26,00 | 26,00 | 26,00 | 25,96 |
| Température radiante (°C) | 27,29 | 27,26 | 27,21 | 27,11 | 27,01 | 26,90 | 26,94 | 27,34 | 27,72 | 27,86 | 27,87 | 27,89 | 27,94 | 27,99 | 28,02 | 28,07 | 28,14 | 28,01 | 27,80 | 27,67 | 27,59 | 27,53 | 27,46 | 27,39 | |
| Température opérative (°C) | 26,55 | 26,57 | 26,43 | 26,21 | 26,01 | 25,84 | 25,93 | 26,61 | 26,86 | 26,93 | 26,93 | 26,94 | 26,97 | 27,00 | 27,01 | 27,03 | 27,07 | 27,00 | 26,90 | 26,84 | 26,79 | 26,76 | 26,73 | 26,67 | |
| Température Sèche Air Extérieur (°C) | 24,70 | 24,88 | 24,42 | 23,88 | 23,33 | 23,00 | 23,23 | 25,62 | 29,42 | 33,22 | 35,21 | 35,85 | 36,51 | 35,11 | 32,21 | 31,52 | 31,38 | 30,42 | 29,18 | 27,67 | 26,71 | 26,21 | 25,42 | 24,83 | |
| Humidité relative (%) | 68,39 | 76,80 | 73,15 | 73,36 | 75,04 | 76,97 | 78,55 | 68,78 | 54,81 | 47,12 | 45,05 | 45,80 | 46,75 | 47,31 | 48,45 | 49,18 | 46,13 | 45,83 | 48,63 | 51,38 | 52,75 | 53,76 | 56,89 | 57,44 | |
| Fanger PMV () | -1,05 | -0,92 | -1,01 | -1,16 | -1,24 | -1,34 | -1,28 | -1,01 | -1,00 | -1,07 | -1,10 | -1,09 | -1,06 | -1,04 | -1,03 | -1,00 | -1,01 | -1,06 | -1,08 | -1,07 | -1,08 | -1,08 | -1,06 | -1,08 | |

Température d'air (°C) Température radiante (°C) Température opérative (°C)
Température Sèche Air Extérieur (°C) Humidité relative (%) Fanger PMV ()

*Nous sommes dans une situation de découplage thermique entre l'intérieur et l'extérieur pendant la journée et la descente de la température nocturne permet la température intérieure de descendre entre 1°C et 2°C*

*A l'aube l'humidité est très inconfortable et elle est due aux températures moins chaudes de la nuit.*

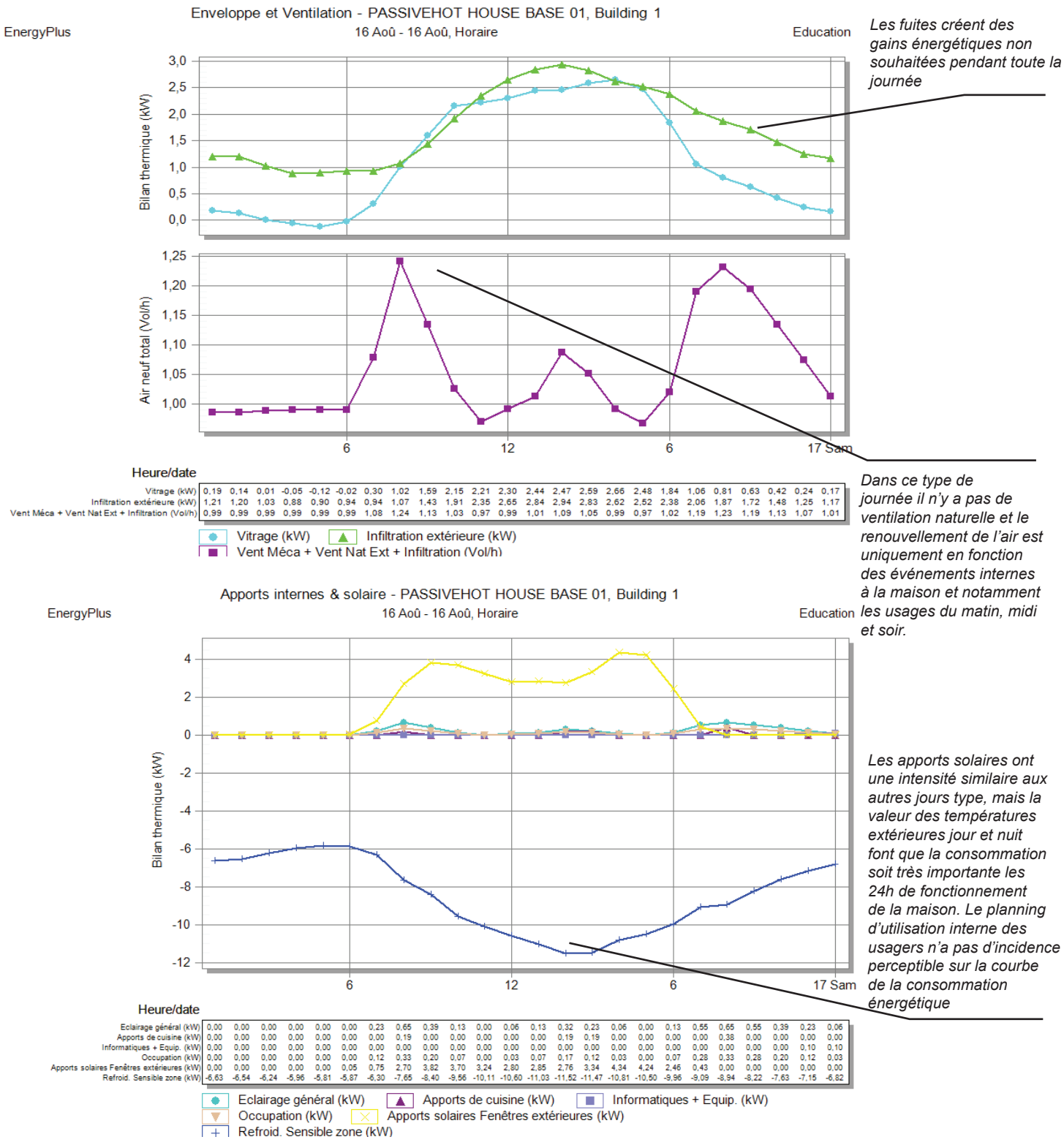



Heure/date

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Electricité pour la zone (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,38 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,10 | |
| Eclairage (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,23 | 0,65 | 0,39 | 0,13 | 0,00 | 0,06 | 0,13 | 0,32 | 0,23 | 0,06 | 0,00 | 0,13 | 0,55 | 0,65 | 0,55 | 0,39 | 0,23 | 0,06 | |
| Climatisation (Electricité) (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,90 | 7,86 | 8,54 | 8,26 | 9,05 | 10,18 | 10,59 | 8,88 | 8,26 | 6,74 | 5,88 | 6,01 | 6,06 | 4,70 | 4,03 | 2,94 | 0,73 | |

Electricité pour la zone (kW) Eclairage (kW) Climatisation (Electricité) (kW)

*Les consommations énergétiques due à la climatisation sont importantes dès le début de la journée avec un pic correspondant au moment de plus haute température extérieure vers 14h*




*Les fuites créent des gains énergétiques non souhaitées pendant toute la journée*

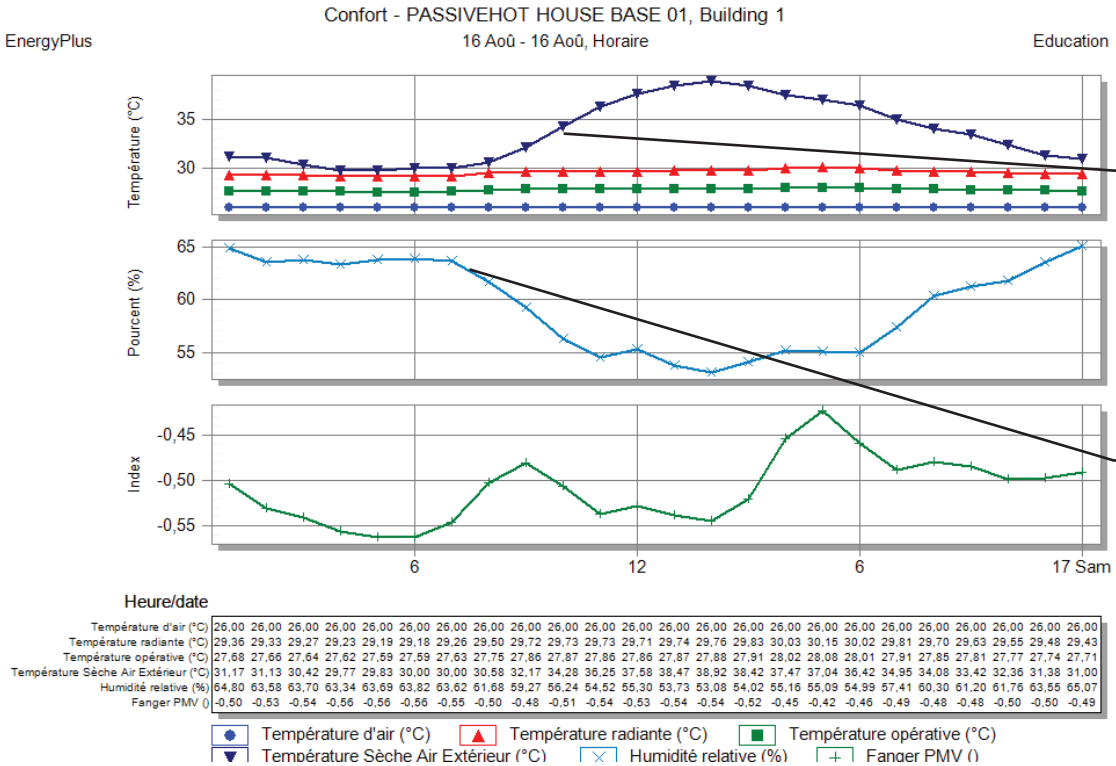
*Dans ce type de journée il n'y a pas de ventilation naturelle et le renouvellement de l'air est uniquement en fonction des événements internes à la maison et notamment les usages du matin, midi et soir.*

*Les apports solaires ont une intensité similaire aux autres jours type, mais la valeur des températures extérieures jour et nuit font que la consommation soit très importante les 24h de fonctionnement de la maison. Le planning d'utilisation interne des usagers n'a pas d'incidence perceptible sur la courbe de la consommation énergétique*

*Figure 4-24 Graphiques du comportement thermique et de la consommation de la journée type S6*

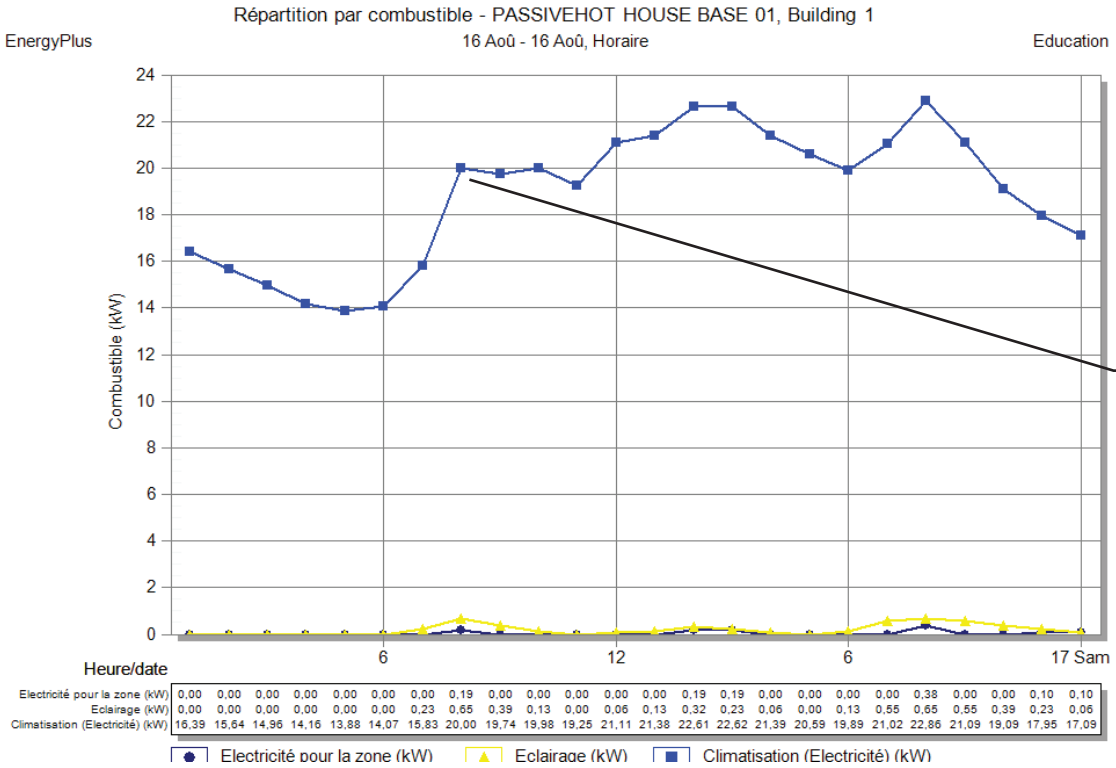
## Comportement Journée type S6 : 16 Août 2002

*Le S6 est un jour très chaud, les températures ne sont jamais agréables, 30ºC à 6h, et montent rapidement en dehors du seuil de confort, à 39ºC à 14h. La maison est climatisée en permanence. La température du point de rosée est très haute toute la journée : difficile de se refroidir avec la transpiration. Le vent commence le soir à souffler E et puis en augmentation, S et puis O, pour finir la journée au Nord. Le soleil est plus important en rayonnement direct, 70%, que en diffus, 20%. La température de l'air intérieure reste à 26ºC mais comme les murs sont chauds, la température opérative est plus élevée, et reste entre 27ºC et 28ºC toute la journée. La HR est dans les valeurs de confort, 40%-70%, en permanence. Le PMV est le plus proche de 0 de toutes les journées type, toujours en dessus de -0,6. Les apports thermiques sont faits principalement par infiltration jour et nuit et les vitrages la journée mais le soir ils se font par conduction aussi contrairement à toutes les autres journées type : la nuit les vitrages et l'enveloppe ne sont pas déperditifs. La ventilation avec l'extérieur est réduite au minimum sanitaire. L'éclairage reste stable à 0,6 kW en valeur du pic journalier mais il est négligeable face aux besoins thermiques, 23 kW en valeur du pic journalier, mais avec une consommation de 19 kW de moyenne pendant les 24h.*




*Situation de découplage thermique totale entre l'intérieur et l'extérieur pendant toute la journée. Ce qui se passe à l'extérieur n'a aucune incidence avec la température intérieure*

*L'humidité est acceptable pendant toute la journée, y compris la nuit. L'aridité du climat de la région efface l'influence de la mer.*




*Les événements ayant une influence sur la consommation énergétique liée au refroidissement sont les températures extérieures avec une influence mineur des événements liées a l'usage de la maison qui créent des apports supplémentaires et modifient la forme de la courbe des consommations*

## 4-3-2- Comportement thermique Design Builder des actions architecturales avec leur impact financier

Après modélisation, nous avons soumis à la météo de Dubaï une série de modèles modifiés en fonction des différentes actions architecturales isolées possibles. Le comportement des modèles «Variante» du modèle Base est analysé dans les pages qui suivent cette introduction. Le premier paramètre analysé est la consommation énergétique par m2 du modèle, dans chacune des journées type, S2 à S6 et à l'année. La valeur annuelle est spécifique à Dubaï et elle ne sera pas transposable plus tard à d'autres sites car elle est par définition propre au site de Dubaï. La deuxième partie de la table reflète simplement les pourcentages de réduction ou d'augmentation des performances par rapport au modèle Base. Les fiches des pages suivantes analysent le comportement des modèles suite à une modification «action architecturale» en associant aussi la modification du prix de l'action. Les économies financières, associées au tarif en vigueur du kWh d'énergie en France, et le surcoût de l'action architecturale permettent de trouver le temps de retour par action. Les tableaux de la Figure 4-25 recueillent toutes les données des simulations.

### 4-3-2-1- Organisation du tableau des données

1- Le modèle est simulé sur la météo annuelle, et sur les journées type, S2 à S6, avec les dates suivantes: 01 janvier, 30 novembre, 19 février, 14 avril et 16 août de 2002. La modélisation journalière est faite avec un préchauffage du modèle de 20 jours avant avec le même jour type. Nous obtenons les valeurs de consommation générale de la maison en kWh/m2an et kWh/m2jour ainsi que les pourcentages d'augmentation ou diminution de la consommation par rapport au modèle de base. Chaque action à analyser a un modèle E+ associé. Il est construit en partant du modèle Base et en réalisant seulement les modifications associées à une action à la fois.

2- Nous appliquons le tarif électrique de 0,12 €/kWh, ce qui corresponde au tarif moyen des foyers en France, nous allons utiliser les prix français car les études de prix du coût de construction des actions sont aussi faites sur une base française. Nous obtenons les économies, en euros, induites par une action architecturale par m2 et par année ou par jour. L'exercice est représentatif dans un contexte européen, cependant dans des pays où les ratios «coût horaire de la main d'oeuvre/Matériaux de construction» et «tarif électrique du kWh / coût horaire de la main d'oeuvre» sont très différents, il faudra recalculer les prix de construction.

3- Nous trouvons la variation de prix associée à une seule action architecturale, cela représente le coût d'investissement pour avoir en échange les économies décrites dans le point 2. Le rapport entre ces économies et le coût d'investissement initial nous donnent tout simplement le temps de retour sur investissement .

Les actions que nous allons analyser sont celles pour lesquelles nous pouvons obtenir des résultats fiables avec les moyens informatiques disponibles dans le cadre de cette étude. Tester toutes les solutions proposées par les auteurs dans le chapitre précédent est un objectif que nous développerons dans des projets futurs, mais à ce jour avec les moyens limités nous ne pouvons tester que les mesures modélisables par le logiciel de simulation DB/E+. Ainsi, la liste des actions testées sont listées dans la Figure 4-26. Les codes proposés sont composés de trois chiffres en fonction du classement Axe/Volet/Action.

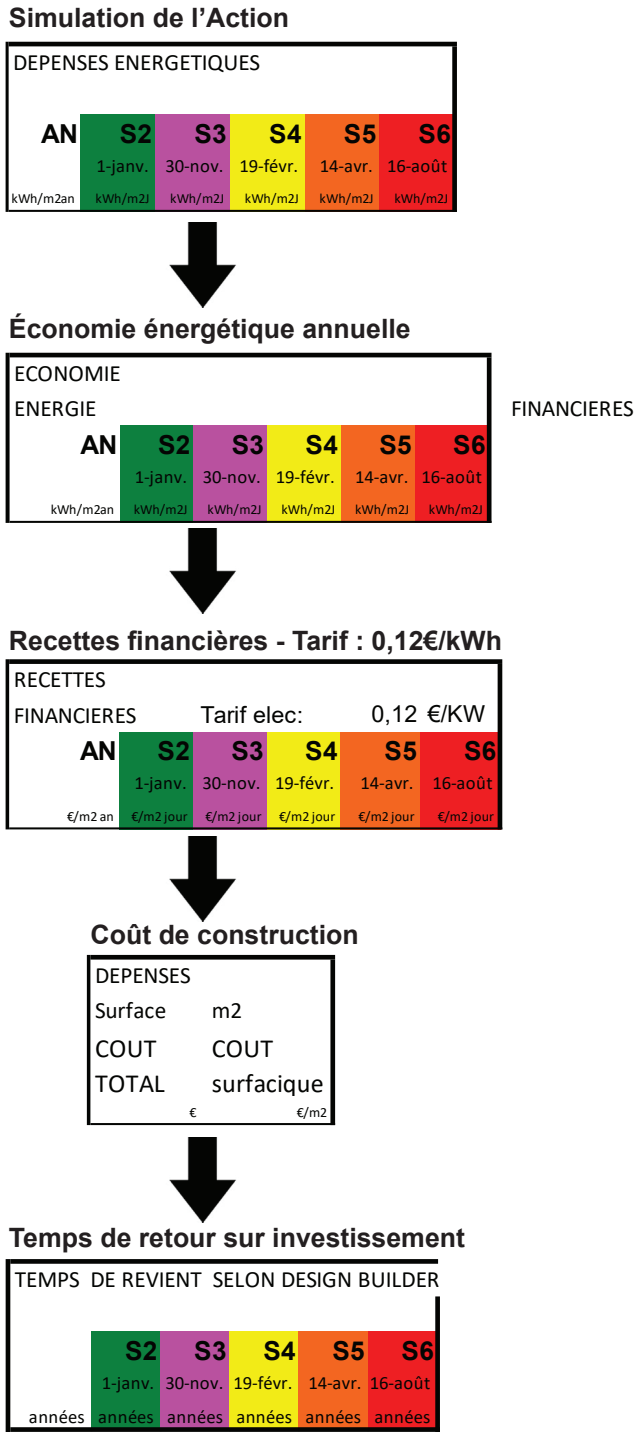



*Figure 4-25 Phases 1,2 et 3 pour caractériser l'influence d'une action architecturale isolée*

## 4-3-2-2- Analyse financière et tableau récapitulatif des variantes du modèle de base

Afin d'analyser financièrement chacune des actions architecturales, nous avons chiffré le coût de chaque variante avec un analyse global de chaque variante. L'objectif est double : quantifier l'incidence relative qu'apporte une action architecturale sur le prix total de la maison et également avoir la certitude que toutes les incidences économiques d'une action, les plus-values et les moins values, sont prises en compte. Le tableau de la Figure 4-27 montre un extrait de tous les analyses faites par variante. Dans ce tableau nous avons souligné en vert les postes que étaient modifiés dans la variante concernée par rapport à la maison Base. Le détail des tableaux se trouvent en annexe. Le prix par action sera également analysé dans les pages suivantes et mis en rapport avec la performance de chaque action architecturale.

Le calcul du temps de retour est donné tout simplement par le rapport «coût de l'action/économies engendrées par l'action». Ces valeurs qui doivent s'interpréter car en fonction du signe, positif ou négatif, du coût de l'action, parfois inférieur au prix initial, et des économies liées à l'action, parfois plus élevées que la situation initiale, peut donner des valeurs qui peuvent mener à confusion. Ainsi avant d'annoncer une valeur pour le temps de revient, nous proposons de les interpréter de la façon suivante :

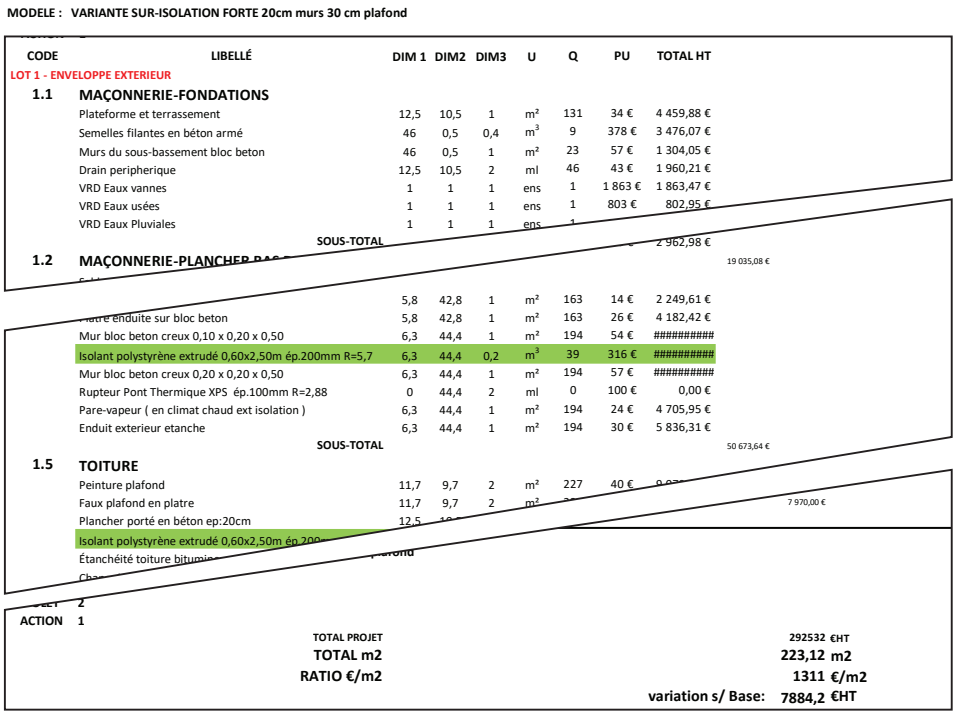
**«bonne» :** Si l'action génère une baisse de consommation et une baisse du prix de la construction. Cela ce sont des actions qui nous devrions faire systématiquement, car elles sont bénéfiques du moment même qu'elles sont mises en place.

**«mauvaise»** : Si l'action génère une hausse de consommation et une hausse du prix de la construction. Ce sont des actions que nous ne devrions jamais mettre en oeuvre.

**Signe positif de la valeur du temps de retour** : Il s'agit de l'interprétation la plus simple et habituelle. L'action engendre un prix final de la maison plus élevé que la maison de base, par contre elle génère des économies financières tous les ans. Elle représente le nombre d'années qu'il faut passer pour rentabiliser l'action architecturale.

**Signe négatif de la valeur du temps de retour** : L'action engendre un prix final de la maison plus bas que la maison de base, par contre elle génère des consommations énergétiques plus fortes et donc des dépenses financières  tous les ans. La valeur négative représente le nombre d'années au bout duquel nous viendrons à regretter de ne pas avoir entamé l'action architecturale. Dit autrement, c'est le temps de retour de l'option «maison Base» comme option à la maison variante de l'action concernée.

Pour un souci de lisibilité nous n'avons appliqué ce code qu'au temps de retour des simulations annuelles, mais sa valeur permet d'interpréter plus facilement les signes des temps de retour associés aux jours types des saisons S2 à S6, qui sont détaillées dans les pages suivantes avec l'analyse et l'interprétation des performances par action architecturales individuelle. La Figure 4-28 montre la synthèse des résultats des consommations et du coût des construction  des variantes. Le comportement de chacune des variantes est analysé dans les fiches du chapitre 4-4.



MODELE : VARIANTE SUR-ISOLATION FORTE 20cm murs 30 cm plafond

| CODE | LIBELLÉ | DIM 1 | DIM2 | DIM3 | U | Q | PU | TOTAL HT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LOT 1 - ENVELOPPE EXTERIEUR | | | | | | | | |
| 1.1 | MAÇONNERIE-FONDATIONS | | | | | | | |
| | Plateforme et terrassement | 12,5 | 10,5 | 1 | m² | 131 | 34 € | 4 459,88 € |
| | Semelles filantes en béton armé | 46 | 0,5 | 0,4 | m³ | 9 | 378 € | 3 476,07 € |
| | Murs du sous-bassement bloc beton | 46 | 0,5 | 1 | m² | 23 | 57 € | 1 304,05 € |
| | Drain peripherique | 12,5 | 10,5 | 2 | ml | 46 | 43 € | 1 960,21 € |
| | VRD Eaux vannes | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 863 € | 1 863,47 € |
| | VRD Eaux usées | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 803 € | 802,95 € |
| | VRD Eaux Pluviales | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | | |
| | SOUS-TOTAL | | | | | | | 2 962,98 € |
| 1.2 | MAÇONNERIE-PLANCHER BAS | | | | | | | 19 035,08 € |
| | | 5,8 | 42,8 | 1 | m² | 163 | 14 € | 2 249,61 € |
| | Mur enduite sur bloc beton | 5,8 | 42,8 | 1 | m² | 163 | 26 € | 4 182,42 € |
| | Mur bloc beton creux 0,10 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 54 € | ########## |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.200mm R=5,7 | 6,3 | 44,4 | 0,2 | m³ | 39 | 316 € | ########## |
| | Mur bloc beton creux 0,20 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 57 € | ########## |
| | Rupteur Pont Thermique XPS ép.100mm R=2,88 | 0 | 44,4 | 2 | ml | 0 | 100 € | 0,00 € |
| | Pare-vapeur ( en climat chaud ext isolation ) | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 24 € | 4 705,95 € |
| | Enduit exterieur etanche | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 30 € | 5 836,31 € |
| | SOUS-TOTAL | | | | | | | 50 673,64 € |
| 1.5 | TOITURE | | | | | | | |
| | Peinture plafond | 11,7 | 9,7 | 2 | m² | 227 | 40 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,7 | 9,7 | 2 | m² | | | 7 970,00 € |
| | Plancher porté en béton ep:20cm | 12,5 | | | | | | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.200 | | | | | | | |
| | Étanchéité toiture bitumi | | | | | | | |
| | Cha | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | |
| ACTION | 1 | | | | | | | |
| | TOTAL PROJET | | | | | | | 292532 €HT |
| | TOTAL m2 | | | | | | | 223,12 m2 |
| | RATIO €/m2 | | | | | | | 1311 €/m2 |
| | | | | | | | variation s/ Base: | 7884,2 €HT |

*Figure 4-27 Exemple d'étude des prix de deux variantes de la maison de base. Les postes en vert sont les postes qui varient par rapport au modèle de base.*

## 4-4- Analyse individuelle des actions architecturales

Ce chapitre analyse toutes les actions architecturales qui ont été modélisées, une par une, et discute de la pertinence et de l'intérêt de son utilisation en climat chaud. L'analyse apporte lumière sur la performance énergétique, mais aussi sur le surcoût de construction et le temps de retour de l'investissement.

La liste des fiches que nous avons organisé dans les pages suivantes est :

4-4-1 Réduction des fenêtres ensoleillées
4-4-2 Augmentation des fenêtres non ensoleillées
4-4-3 Orientation n-s des façades vitrées
4-4-4 Protection solaire extérieure aux vitrages
4-4-5 Protection solaire intérieure aux vitrages
4-4-6 Isolation thermique des parois
4-4-7 Suppression des ponts thermiques
4-4-8 Performance des fenêtres
4-4-9 Étanchéité à l'air
4-4-10 Matériaux façades extérieures
4-4-11 Lame d'air ventilée en façade
4-4-12 Compacité
4-4-13 Ventilation double flux échange thermique
4-4-14 Augmentation de la masse thermique du bâtiment
4-4-15 Ventilation naturelle contrôlée
4-4-16 Toiture radiante  nocturne
4-4-17 Diminution de la température extérieure
4-4-18 Ventilateurs et adaptation hygrométrique

# FICHES INDIVIDUELLES

## par

# ACTION ARCHITECTURAL

*Situation : fermée ou ouverte*

*Titre de l'action architecturale*

*Axe stratégique*

*Pourcentage de la consommation annuelle de l'action la plus efficace par rapport à la maison Base (100%)*

*Logo de l'action architecturale*

*Consommation de l'action architecturale par mètre carré de surface de plancher habitable sur un an (kW/m2an) ou par jour d'une journée type S2 à S6 (kW/m2jour)*

*Pourcentage de la consommation de chaque période, annuelle, et jours S2 a S6, par rapport à la maison Base (100%)*

*Temps de retour de l'investissement, en années, pour une cas annuel. «Bonne» implique des améliorations énergétiques avec un coût de construction inférieur a la maison Base. «Mauvaise» implique des consommations énergétiques plus importantes avec un coût de construction final supérieur*

*Coût de l'action architecturale une fois intégrés tous plus values et moins values associés à la modification du projet*

*Gain financier annuel associé a l'économie énergétique fait par l'action architecturale basé sur une valeur tarifaire de 0,12€/kWh*

*Éventuelles photos, graphiques ou images illustrant la mise en oeuvre ou le comportement de l'action architecturale*

AXE 01- PROTECTION DE LA CHALEUR EXTERNE

**REDUCTION DES FENÊTRES ENSOLEILLÉES**

**Économie : 83%**

*INTRODUCTION*
*Présentation introductive de l'action, son contexte, son histoire, la fréquence d'utilisation, ...*

*MODÈLE DE CALCUL E+*
*Explications sur la façon dont l'action a été modélisée sur Design Builder/E+*

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | DEPENSES ENERGETIQUES AN | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | POURCENTAGE A LA MAISON DE BASE AN % | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | RECETTES FINANCIERES ECONOMIE ENERGIE €/an | COUT DE L'ACTION ARCHITECTURALE € | TEMPS DE REVIENT INVESTISSEMENT années |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | kWh/m2an | kWh/m2j | kWh/m2j | kWh/m2j | kWh/m2j | kWh/m2j | kWh/m2an | kWh/m2j | kWh/m2j | kWh/m2j | kWh/m2j | kWh/m2j | | | |
| MODELE DE BASE | 0 | 237,9 | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,7 | 100,0% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | | 0,0 € | 0,0 |
| Reduction vitres soleil | 1 1 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10% D'OUVERTURE | 1 1 1 | 199 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,32 | 1,5 | 83,7% | 100% | 30% | 60% | 73% | 88% | 1 044,8 € | -23 454,2 € | good |

*DISCUSSION*
*Interprétation des résultats et discussion de son intérêt à être mise en place en fonction du temps de retour sur investissement financier.*

*FAISABILITÉ CONSTRUCTIVE*
*Discussion sur la faisabilité de sa mise en oeuvre facilement dans les contextes locaux*

*RÉFÉRENCES CONTEMPORAINES*
*Éventuels exemples d'application de l'action dans des cas réels et contextualisés*

*Photos X-x Références contemporaines*

*Figure 4-29 Schéma de explication de l'organisation du contenu d'une fiche individuelle d'une action architecturale.*

**AXE 01- PROTECTION DE LA CHALEUR EXTERNE**

# REDUCTION DES FENÊTRES ENSOLEILLÉES

## Économie : 83%

Les ouvertures vitrées recevant l'ensoleillement dans la journée constituent le plus grand apport d'énergie solaire dans une maison. Le ratio «surface vitrée ensoleillée/surface total» des façades a une grande influence sur la consommation énergétique d'une maison. Cette fiche songe à évaluer l'influence d'une réduction de ce ratio. La réduction de la surface vitrée aura aussi un effet bénéfique sur le coût finale de la construction.

MODÈLE DE CALCUL E+

Calculé avec EnergyPlus/Design Builder, en modifiant le modèle de base (30% ouvertures dans les façades) en deux variantes avec des pourcentage d'ouvertures de 10% et de 20%.

DISCUSSION

La réduction des ouvertures apporte des gains énergétiques entre 30% et 95% de la consommation

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | | | DEPENSES ENERGETIQUES | | | | | | POURCENTAGE A LA MAISON DE BASE | | | | | | RECETTES FINANCIERES ECONOMIE ENERGIE | COUT DE L'ACTION ARCHITECTURALE | TEMPS DE REVIENT INVESTISSEMENT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | AN | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | AN % | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | | | |
| | | | | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | €/an | € | années |
| MODELE DE BASE | 0 | | | **237,9** | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,7 | **100,0%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | | 0,0 € | 0,0 |
| Reduction vitres soleil | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | **199** | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,32 | 1,5 | **83,7%** | 100% | 30% | 60% | 73% | 88% | 1 044,8 € | -23 454,2 € | good |
| 20% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | **218** | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,38 | 1,61 | **91,6%** | 100% | 30% | 60% | 86% | 95% | 534,1 € | -11 085,2 € | good |

initiale, avec des économies de entre 534 et 1044 € avec la grille tarifaire française. A cette avantage vient s'ajouter le fait que le coût de l'action est négatif, ce qui signifie que l'action rapporte des économies dans la construction. Elle reste une des seules mesures contre la chaleur qui produit des économies dans les deux volets, la consommation électrique et le coût de construction. Elle a un temps de retour sur l'investissement négatif, ce qui signifie que du moment où elle se réalise elle apporte déjà des gains financiers. Celle-ci est une des mesures à privilégier dans tous les points de vue en climat chaud.

FAISABILITÉ CONSTRUCTIVE

La réduction de surface vitrée ensoleillée est simple et implique une surface réduite tout en gardant dans l'esprit du concepteur l'importance de la vue vers l'extérieur, la ventilation transversale de nuit et la qualité de la lumière naturelle à l'intérieur.

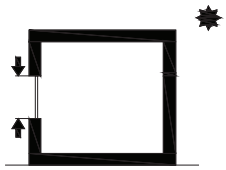
RÉFÉRENCES CONTEMPORAINES

Dans l'architecture contemporaine il y a des nombreux exemples de maîtrise de cette action. Les projets les plus contemporaines au Moyen Orient jouent avec des façades vernaculaires ré-interpretées, comme la photo 1-83 par exemple à Riyad, ou les Photos 4-1

*Photos 4-1 Références contemporaines d'architecture avec un ratio réduit des ouvertures en façade. Crédit : ArchiLab-Atelier F-Love Archi-Téctonica*

# AUGMENTATION DES FENÊTRES NON ENSOLEILLEÉS

**Économie : 95%**



Dans l'hémisphère nord, l'orientation N est celle avec les moindres apports solaires sur une façade. C'est alors sur cette façade que nous pouvons créer le plus grand pourcentage des surfaces vitrées sans apport radiatif direct, sauf pour les premières heures du matin et les dernières heures du soir de l'été.

## MODÈLE DE CALCUL E+

Calculé avec EnergyPlus/Design Builder, le modèle variante présente un pourcentage d'ouvertures de 30% au total telle que le modele Base initiale mais avec une répartition inégale : 100% au N et le reste reparti de façon homogène dans les trois façades S,O et E, avec un ratio de 9% de vitrage par façade

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | DEPENSES ENERGETIQUES | | | | | | POURCENTAGE A LA MAISON DE BASE | | | | | | RECETTES FINANCIERES ECONOMIE ENERGIE | COUT DE L'ACTION ARCHITECTURALE | TEMPS DE REVIENT INVESTISSEMENT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | AN | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | AN % | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | | | |
| | | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | €/an | € | années |
| MODELE DE BASE | 0 | 237,9 | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,7 | 100,0% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | | 0,0 € | 0,0 |
| Vitres sans soleil | 1 1 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100% VITREE NORD | 1 1 2 | 227 | 0,03 | 0,05 | 0,04 | 0,43 | 1,67 | 95,4% | 100% | 50% | 80% | 98% | 98% | 292,2 € | 7 462,2 € | 25,5 |

## DISCUSSION

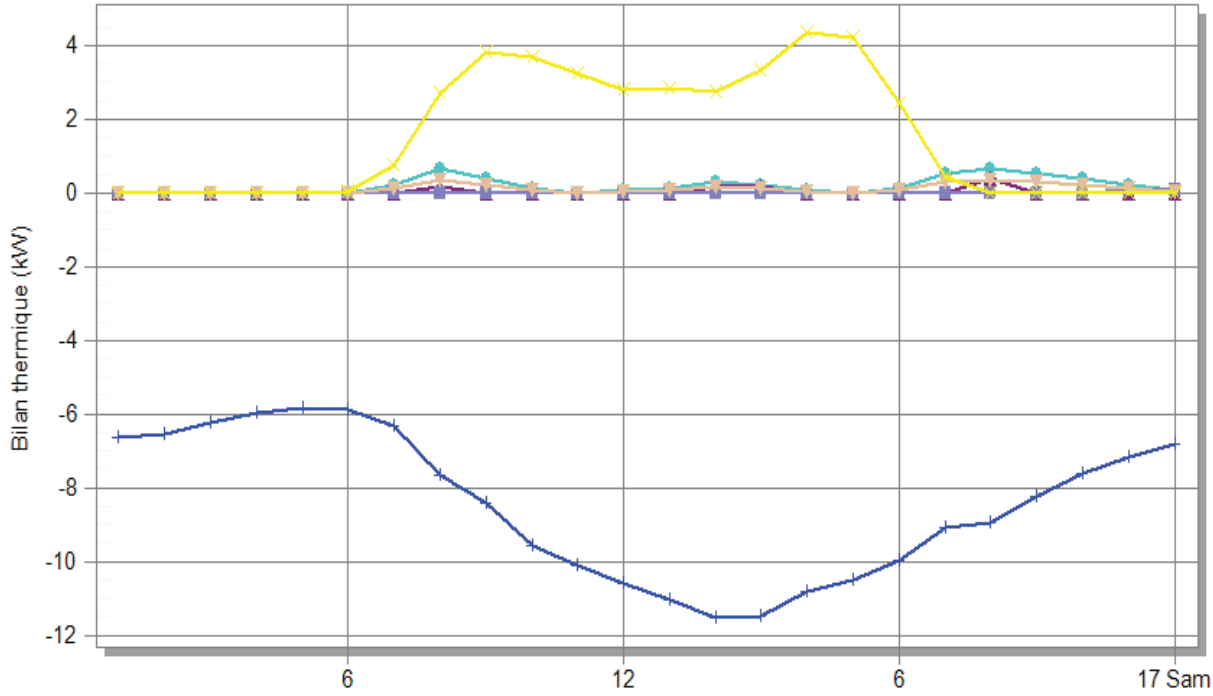
Une grande surface vitrée au nord devient un mur rideau sur toute une façade. Le performance d'un mur rideau ne sera aussi bonne en étanchéité à l'air et en gestion des ponts thermiques des cadres des montants. Il faut aussi pouvoir apporter la lumière au centre de la maison par vitrages avec une TL plus importante et donc avec une protection solaire moindre. En tout cas la consommation d'une ouverture de 30% concentrée majoritairement sur la façade N, a une différence de consommation 5% par rapport au modèle Base.

La figure 4-30 montre les apports solaires par tranche horaire. Tout d'abord on constate la disparition de la forme en double pic de la courbe de radiation solaire, caractéristique des journées types de la maison de base avec une répartition homogène des ouvertures. Si nous comparons et analysons les valeurs horaires, le matin la solution variante 100% vitrée au N reçoit à 9h du matin des apports 33% inférieurs à celle du modèle de base et en fin d'après-midi, à 18h, les apports de la variante sont de 30% inférieurs à la solution de base. Cependant nous rencontrons dans le résultats des valeurs inattendues dans les tranches horaires entre 12h et 14h ou les apports solaires dans la maison variante 100% vitrée Nord sont de 7% supérieurs que la maison Base. Ceci est davantage étonnant alors que le soleil à déjà depuis plusieurs heures quitté la façade Nord. Ceci est due a une combinaison de deux facteurs : l'efficacité des casquettes de protection pendant les heures où le soleil est au plus haut combiné avec les effets d'albédo, radiation diffuse, sur une façade Nord avec une protection solaire uniquement en rive haute et pas sur tous les nez de plancher sur les menuiseries comme c'est le cas dans la maison de base.

Dans le contexte actuelle nous avons chiffre le mur rideau plus cher que la surface en menuiserie classique, et le coût de l'action est de 7462€ ce qui fait un temps de retour sur investissement de 25 ans. Cependant et compte tenu que la quantité de matière finale à mettre en oeuvre est la même, les prix pourraient facilement se rapprocher si l'action est optimisée et le constructeur maîtrise la construction des murs rideaux.

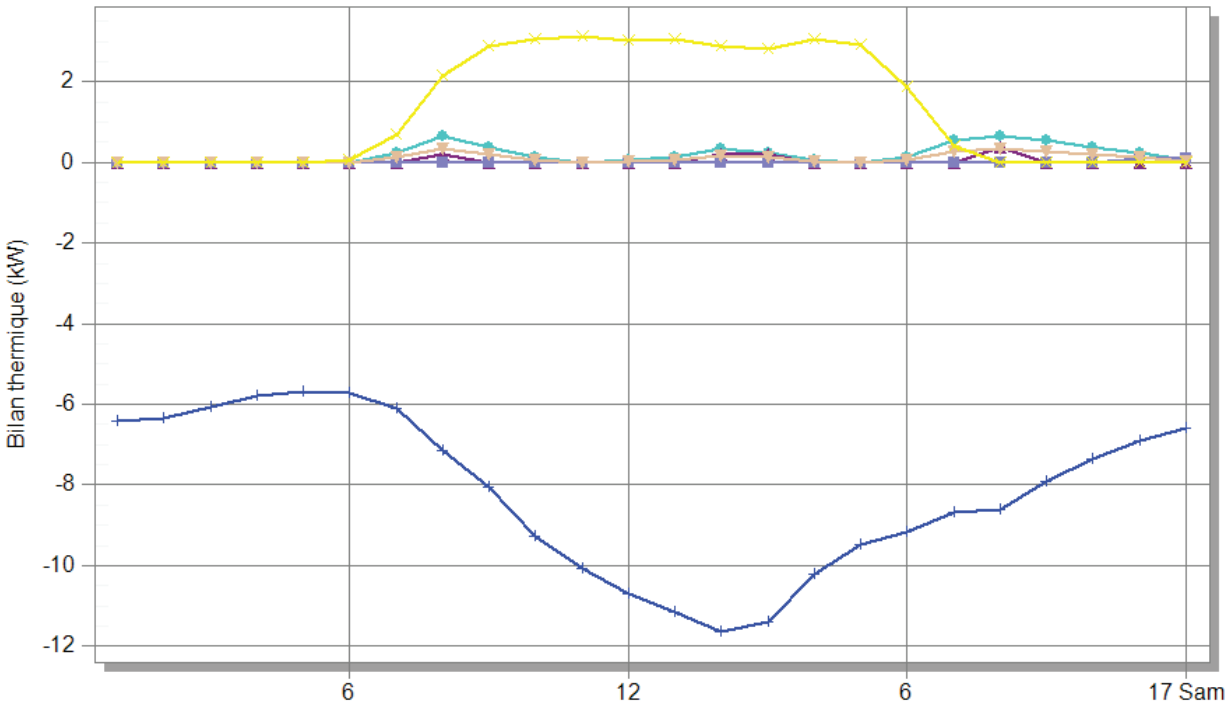
## FAISABILITÉ CONSTRUCTIVE

La réduction de surface vitrée ensoleillée par concentration des surfaces vitrées dans la façade Nord est une option qui devrait permettre de réduire au minimum les ouvertures dans les façades ensoleillées tout en restant très exposée au Nord. La vraie difficulté de cette solution est de réussir à transmettre la lumière de la façade Nord au reste de la maison. La distribution intérieure des espaces doit être en conséquence bien réfléchie. Nous pourrions imaginer des maisons avec une forme en plan qui pourrait avoir les cotés N et S plus longs tout en gardant la même surface au sol, ceci permettrait de créer plus d'espaces donnant directement au Nord et un aménagement plus confortable. Les orientations vers le Nord sont connues pour apporter une lumière douce et avec peu de variations pendant toute la journée. Cette caractéristique font des espaces avec cette orientation idéales pour héberger des usages de lecture, séjours, zones pour activités reparties le long de




Heure/date

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Eclairage général (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,23 | 0,65 | 0,39 | 0,13 | 0,00 | 0,06 | 0,13 | 0,32 | 0,23 | 0,06 | 0,00 | 0,13 | 0,55 | 0,65 | 0,55 | 0,39 | 0,23 | 0,06 |
| Apports de cuisine (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,38 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Informatiques + Equip. (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,10 |
| Occupation (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,12 | 0,33 | 0,20 | 0,07 | 0,00 | 0,03 | 0,07 | 0,17 | 0,12 | 0,03 | 0,00 | 0,07 | 0,28 | 0,33 | 0,28 | 0,20 | 0,12 | 0,03 |
| Apports solaires Fenêtres extérieures (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,75 | 2,70 | 3,82 | 3,70 | 3,24 | 2,80 | 2,85 | 2,76 | 3,34 | 4,34 | 4,24 | 2,46 | 0,43 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Refroid. Sensible zone (kW) | -6,63 | -6,54 | -6,24 | -5,96 | -5,81 | -5,87 | -6,30 | -7,65 | -8,40 | -9,56 | -10,11 | -10,60 | -11,03 | -11,52 | -11,47 | -10,81 | -10,50 | -9,96 | -9,09 | -8,94 | -8,22 | -7,63 | -7,15 | -6,82 |




Heure/date

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Eclairage général (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,23 | 0,65 | 0,39 | 0,13 | 0,00 | 0,06 | 0,13 | 0,32 | 0,23 | 0,06 | 0,00 | 0,13 | 0,55 | 0,65 | 0,55 | 0,39 | 0,23 | 0,06 |
| Apports de cuisine (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,38 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Informatiques + Equip. (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,10 |
| Occupation (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,12 | 0,33 | 0,20 | 0,07 | 0,00 | 0,03 | 0,07 | 0,17 | 0,12 | 0,03 | 0,00 | 0,07 | 0,28 | 0,33 | 0,28 | 0,20 | 0,12 | 0,03 |
| Apports solaires Fenêtres extérieures (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,69 | 2,13 | 2,87 | 3,04 | 3,13 | 3,02 | 3,07 | 2,90 | 2,81 | 3,07 | 2,92 | 1,88 | 0,39 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Refroid. Sensible zone (kW) | -6,42 | -6,34 | -6,05 | -5,80 | -5,68 | -5,73 | -6,09 | -7,15 | -8,04 | -9,28 | -10,07 | -10,69 | -11,16 | -11,65 | -11,40 | -10,21 | -9,47 | -9,18 | -8,68 | -8,61 | -7,92 | -7,36 | -6,92 | -6,60 |



**S6**

*Figure 4-30 Comparaison des apports solaires horaires entre la maison Base (haut) et la maison 100% vitrée N (bas) pendant une journée type S6*

la journée... En tout cas ce n'est pas une orientation difficilement valorisable, bien au contraire.

RÉFÉRENCES CONTEMPORAINES

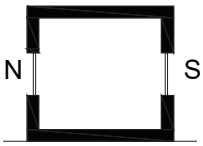
Des maisons avec une façade toute vitrée orientée en fonction du contexte, au Sud dans les climats froids et au Nord dans les climats chauds, existent dans tous les styles d'architecture contemporaine (Photo 4-2).

*Photos 4-2 Références contemporaines d'architecture avec une façade 100% vitrée. Crédit : JRKVC, beppe Giordino*

*Figure 4-31 Plan urbain de l'opération AKO$_2$YA OXIGEN à Dubaï proposé et en construction par la société DAMAC avec une prise en compte de l'orientation uniquement dans l'organisation des dessertes du lotissement, et pas en rapport avec le soleil.*

# ORIENTATION N-S DES FAÇADES VITRÉES

**Économie : 95%**




L'orientation Nord-Sud des façades vitrées permet de maîtriser facilement les apports solaires en climat chaud: au Sud par des casquettes horizontales, balcons, et au Nord par les faibles apports peu significatifs. Par contre les façades Est et particulièrement l'Ouest sont très défavorables par l'intensité du soleil qui entre perpendiculaire aux vitrages et par la difficulté de bloquer efficacement les apports sans bloquer la vue. La façade Nord reçoit néanmoins des apports en été le matin et le soir. Nous souhaitons verifier si une orientation parfaitement au N est la plus efficace.

MODÈLE DE CALCUL E+

Pour voir l'incidence de l'orientation du N, nous ne pouvons pas utiliser la maison de base car elle a des ouvertures dans toutes les orientations. Nous avons besoin de comparé avec un modele avec une grande sensibilité sur la facade N, ainsi cette variante sera calculée avec EnergyPlus/Design Builder, à partir du modèle modifié avec 100% d'ouvertures en façade Nord qui présente une orientation N-S idéale. Ce modèle a subi une rotation dans le sens horaire ( façade Nord vers l'Est) de 22,5º et puis 45º. Les performances sont calculées pour ces deux orientations. Nous comparerons en suite trois résultats : maison 100%N, maison 100%NNE et maison 100%NE. Nous avons considéré que l'opportunité s'orienter NNE économisait 5k€ et NE nous économisait 10k€ des coûts du projet. Ces valeurs sont totalement arbitraires mais ils servent a evaluer l'intérêt économique de l'investissement malgré les économies a court terme. Ainsi le surcoût lié à l'orientation sera minimal s'il est intégré dans la réflexion initiale des plans d'aménagement locaux, et très chers, voir inabordables si l'orientation de la parcelle doit se décider à la fin contre le contexte de la parcelle qui aura déjà naturellement une orientation idéale en fonction des rues, masques, vues... .

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | | | DEPENSES ENERGETIQUES | | | | | | POURCENTAGE A LA MAISON DE BASE | | | | | | RECETTES FINANCIERES ECONOMIE ENERGIE | COUT DE L'ACTION ARCHITECTURALE | TEMPS DE REVIENT INVESTISSEMENT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | AN | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | AN % | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | €/an | € | années |
| | | | | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | | | |
| 100% VITREE NORD | 1 | 1 | 2 | **227** | 0,03 | 0,05 | 0,04 | 0,43 | 1,67 | **95,4%** | 100% | 50% | 80% | 98% | 98% | 292,2 € | 7 463,0 € | 25,5 |
| Orientation vitree 100% | 1 | 1 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| ROTATION NNE 22,5º | 1 | 1 | 3 | **231** | 0,03 | 0,05 | 0,04 | 0,43 | 1,68 | **101,8%** | 100% | 100% | 100% | 100% | 101% | -107,5 € | -5 000,0 € | -46,5 |
| ROTATION NE 45º | 1 | 1 | 3 | **240** | 0,03 | 0,05 | 0,04 | 0,47 | 1,73 | **105,7%** | 100% | 100% | 100% | 109% | 104% | -349,4 € | -10 000,0 € | -28,6 |

DISCUSSION

Les résultats confirment que la orientation N-S est la plus efficace. Un écart de 23º vers l'Est, implique une augmentation de 2,7% de la consommation annuelle et un écart de 45º vers l'Est une augmentation de 5%. Ces sur-consommations sont dues aux apports pendant les journées d'été, type S6, avec une consommation journalière de 1% plus importante que avec une orientation N-S. Pendant une journée S6, l'orientation N (Figures 4-32 et 4-33) a des apports de 31,98 kWh alors que les apports d'une orientation NNE sont de 34,24 kWh, de 7% de plus. Si nous analysons par tranche horaire, le matin l'orientation NNE reçoit à 9h des apports 30% supérieurs à celle de l'orientation N. Cependant, en fin d'après-midi, à 18h, les apports avec la solution NNE sont 11% inférieures à la solution N. Avec de telles économies de construction, 5K€ et 10k€, nous viendrons regretter de ne pas l'avoir bien orienté, dans 46 ans et 28 ans respectivement. La mesure est très dépendant des gains financiers associés aux orientations.

FAISABILITÉ CONSTRUCTIVE

En tissu urbain l'orientation optimale de l'ouvrage est impossible, en tissue pavillonnaire l'exercise est plus facile. Cependant dans nombreux lotissements l'orientation des logements ne semble pas être une préoccupation (Figure 4-31).

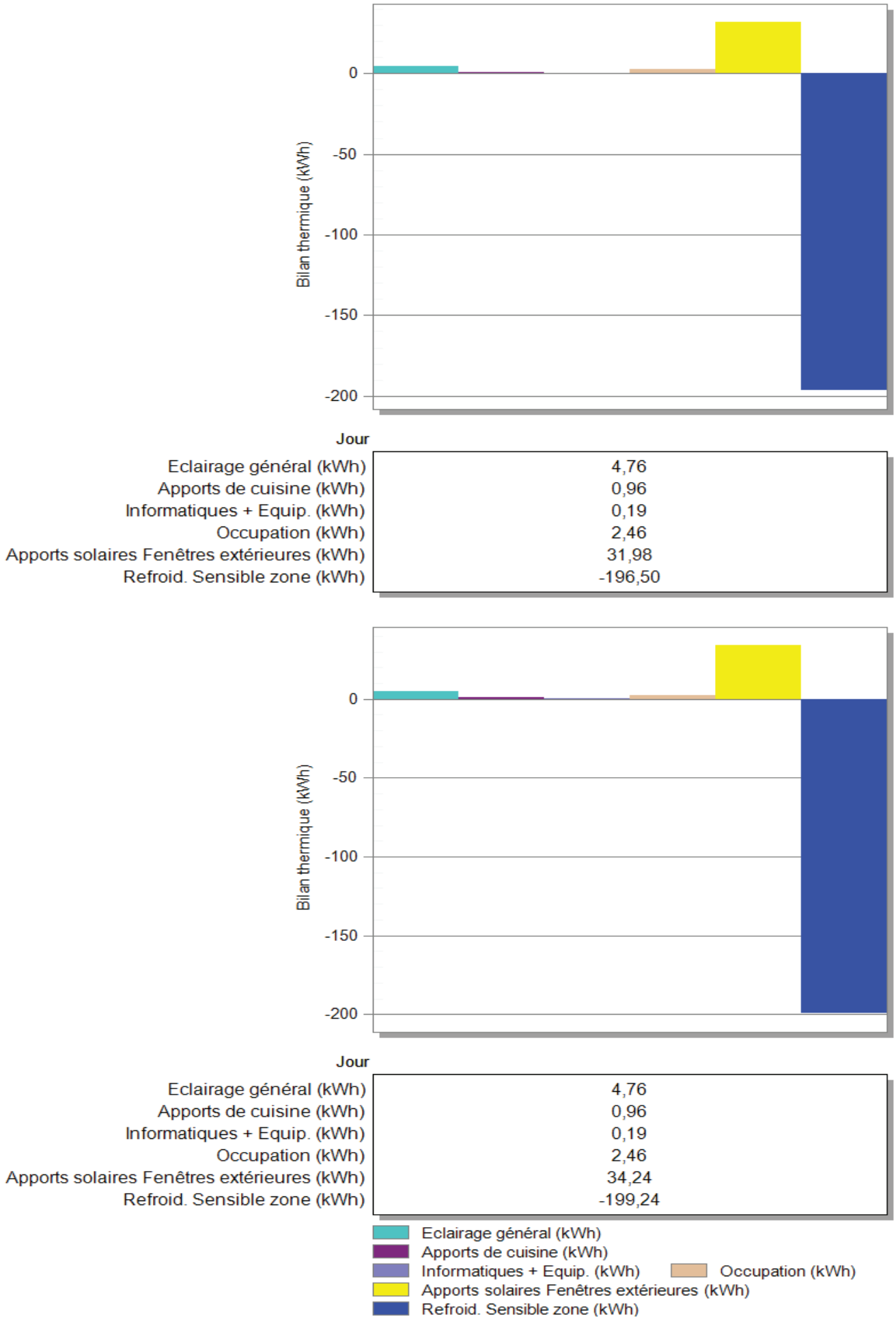
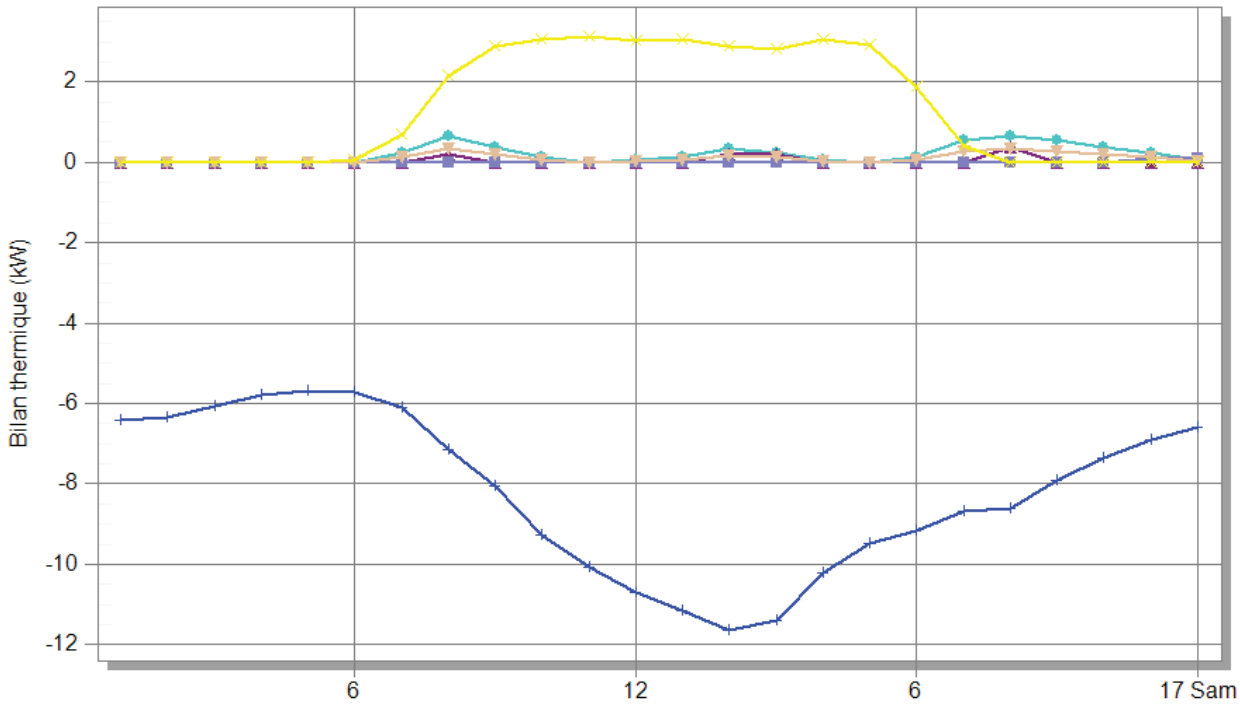
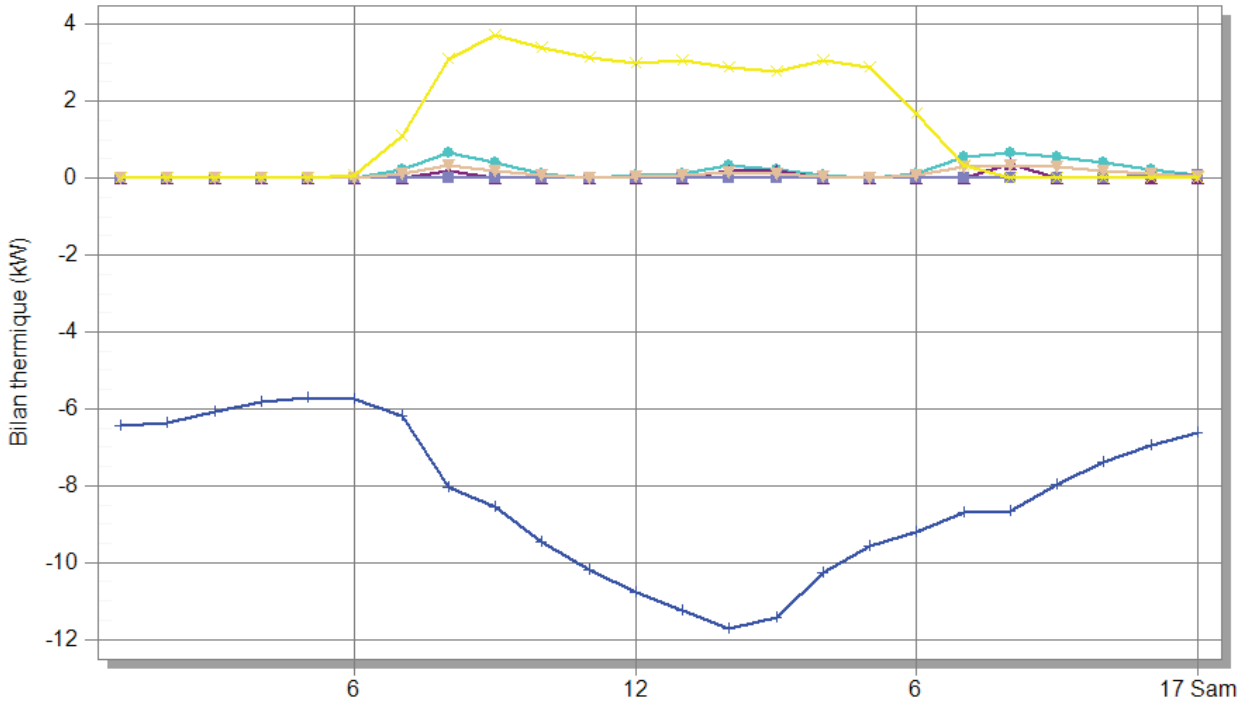



*Figure 4-32 Comparaison des apports solaires totaux de la journée du 16 Août (S6) entre la maison 100% vitrée Nord (haut) et la maison 100% vitrée NNE (bas)*




Heure/date

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Eclairage général (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,23 | 0,65 | 0,39 | 0,13 | 0,00 | 0,06 | 0,13 | 0,32 | 0,23 | 0,06 | 0,00 | 0,13 | 0,55 | 0,65 | 0,55 | 0,39 | 0,23 | 0,06 |
| Apports de cuisine (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,38 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Informatiques + Equip. (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,10 |
| Occupation (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,12 | 0,33 | 0,20 | 0,07 | 0,00 | 0,03 | 0,07 | 0,17 | 0,12 | 0,03 | 0,00 | 0,07 | 0,28 | 0,33 | 0,28 | 0,20 | 0,12 | 0,03 |
| Apports solaires Fenêtres extérieures (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,69 | 2,13 | 2,87 | 3,04 | 3,13 | 3,02 | 3,07 | 2,90 | 2,81 | 3,07 | 2,92 | 1,88 | 0,39 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Refroid. Sensible zone (kW) | -6,42 | -6,34 | -6,05 | -5,80 | -5,68 | -5,73 | -6,09 | -7,15 | -8,04 | -9,28 | -10,07 | -10,69 | -11,16 | -11,65 | -11,40 | -10,21 | -9,47 | -9,18 | -8,68 | -8,61 | -7,92 | -7,36 | -6,92 | -6,60 |




Heure/date

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Eclairage général (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,23 | 0,65 | 0,39 | 0,13 | 0,00 | 0,06 | 0,13 | 0,32 | 0,23 | 0,06 | 0,00 | 0,13 | 0,55 | 0,65 | 0,55 | 0,39 | 0,23 | 0,06 |
| Apports de cuisine (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,38 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Informatiques + Equip. (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,10 |
| Occupation (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,12 | 0,33 | 0,20 | 0,07 | 0,00 | 0,03 | 0,07 | 0,17 | 0,12 | 0,03 | 0,00 | 0,07 | 0,28 | 0,33 | 0,28 | 0,20 | 0,12 | 0,03 |
| Apports solaires Fenêtres extérieures (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,08 | 1,11 | 3,09 | 3,73 | 3,41 | 3,15 | 3,00 | 3,06 | 2,89 | 2,76 | 3,06 | 2,88 | 1,69 | 0,32 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Refroid. Sensible zone (kW) | -6,45 | -6,37 | -6,09 | -5,83 | -5,72 | -5,76 | -6,18 | -8,05 | -8,57 | -9,45 | -10,20 | -10,79 | -11,25 | -11,73 | -11,44 | -10,26 | -9,57 | -9,22 | -8,71 | -8,65 | -7,96 | -7,40 | -6,96 | -6,64 |

Eclairage général (kW) | Apports de cuisine (kW) | Informatiques + Equip. (kW)
Occupation (kW) | Apports solaires Fenêtres extérieures (kW)
Refroid. Sensible zone (kW)

**S6**

*Figure 4-33 Comparaison des apports solaires horaires entre la maison 100% vitrée Nord (haut) et la maison 100% vitrée NNE (bas) pendant journée type S6*

**AXE 01**

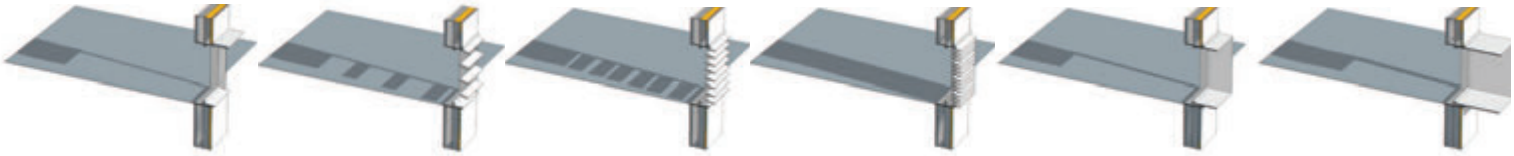
# PROTECTION SOLAIRE EXTÉRIEURE AUX VITRAGES

## Économie : 90%

La protection solaire extérieure des parties vitrées est une des mesures les plus représentatives de la construction passive en climat chaud. Elle se retrouve dans pratiquement tous les recommandations et références de construction pour ce climat. Cette action permet bien évidement de bloquer les apports radiatifs solaires, la source d'apports d'énergie dans la maison la plus importante de toutes. Il existent des nombreuses techniques et des propositions architecturales pour les brises-soleil, cependant nous pouvons identifier deux types très habituels : le brise-soleil a lames devant les fenêtres et les grands encadrements des fenêtres qui bloquent le soleil par ses trois lames périphériques. Nous nous intéressons a l'efficacité des ces deux modèles de protections solaires

MODÈLE DE CALCUL E+

Calculé avec EnergyPlus/Design Builder, trois modèles de brises-soleils et deux modèles d'encadrement ont été modélisés: 4 lames de 20 cm écartés de 30 cm, un autre plus dense de 8 lames de 20 cm écartés de 16 cm et une dernier de 16 lames ecartées de 8cm et plus raprochées du mur, 10 cm a lieu de 30 cm pour les deux premiers. Les encadrements ont 50 cm et 100 cm de profondeur (Figure 4-34). Ces modèles de brises soleil ont été comparés avec le modèle Base avec des casquettes de 50 cm de débord sur les fenêtres, et avec une variante sans protection extérieure, ni brises-soleil ni casquettes sur les fenêtres mais avec un rideau simple a l'intérieur. Un dernier modèle sans protection ni par l'extérieur ni par l'intérieur est aussi testé.



*Base Casquette 50cm* | *Variante 1 Brise-soleil 4 lames 20cm à 30 cm du mur* | *Variante 2 Brise-soleil 8 lames 20cm à 30 cm du mur* | *Variante 3 brises-soleil 16 lames 20cm à 10 cm du mur* | *Variante 4 Cadre périphérique 50cm* | *Variante 5 Cadre périphérique 100cm*

*Figure 4-34 Différentes variantes de brises-soleil modélisées dans le cadre de l'etude.*

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | | | DEPENSES ENERGETIQUES AN kWh/m2an | S2 1-janv. kWh/m2J | S3 30-nov. kWh/m2J | S4 19-févr. kWh/m2J | S5 14-avr. kWh/m2J | S6 16-août kWh/m2J | POURCENTAGE A LA MAISON DE BASE AN % kWh/m2an | S2 1-janv. kWh/m2J | S3 30-nov. kWh/m2J | S4 19-févr. kWh/m2J | S5 14-avr. kWh/m2J | S6 16-août kWh/m2J | RECETTES FINANCIERES ECONOMIE ENERGIE €/an | COUT DE L'ACTION ARCHITECTURALE € | TEMPS DE REVIENT INVESTISSEMENT années |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MODELE DE BASE | 0 | | | **237,9** | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,7 | **100,0%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | | 0,0 € | 0,0 |
| BSOLEIL 4 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | **231** | 0,03 | 0,07 | 0,04 | 0,42 | 1,68 | **97,1%** | 100% | 70% | 80% | 95% | 99% | 184,7 € | 20 370,0 € | 110,3 |
| BSOLEIL 8 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | **225** | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,39 | 1,65 | **94,6%** | 100% | 40% | 60% | 89% | 97% | 345,9 € | 27 159,9 € | 78,5 |
| BSOLEIL 16 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | **216** | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,36 | 1,61 | **90,8%** | 100% | 30% | 60% | 82% | 95% | 587,9 € | 38 023,9 € | 64,7 |
| ENCADREMENT 50CM | 1 | 1 | 4 | **228** | 0,03 | 0,06 | 0,04 | 0,4 | 1,66 | **95,9%** | 100% | 60% | 80% | 91% | 98% | 265,3 € | 17 300,5 € | 65,2 |
| ENCADREMENT 1M | 1 | 1 | 4 | **224** | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,38 | 1,64 | **94,2%** | 100% | 40% | 60% | 86% | 96% | 372,8 € | 51 170,4 € | 137,3 |
| SANS PROTECTION EXT | 1 | 1 | 4 | **239** | 0,03 | 0,1 | 0,051 | 0,45 | 1,71 | **100,5%** | 100% | 100% | 102% | 102% | 101% | -30,4 € | -16 569,4 € | -545,5 |
| SANS PROTEC EXT + INT | 1 | 1 | 4 | **252** | 0,03 | 0,11 | 0,053 | 0,47 | 1,78 | **105,9%** | 100% | 110% | 106% | 107% | 105% | -379,8 € | -25 432,5 € | -67,0 |

DISCUSSION

Dans le cas de l'analyse spécifique d'une ville comme Dubaï, entre la protection maximale et la non protection il y a une variation de 15% de consommation. La solution la plus performante est la variante 3: de 16 brises-soleils avec une amélioration de 10% par rapport a la solution de base. Ce resultat est sans surprises a la vue des ombres portées par toutes les solutions (Figure 4-34). Certaines laissent rentrer plus le soleil que d'autres mais c'est la variante 3 ( 16 brises-soleil) qui gère les apports le plus efficacement. Si nous comparons les deux solutions extrêmes, variante 3 (16 brise-soleil) et variante 5 (encadrement 1m) et la maison de base (Figure 4-35) nous constatons le meilleur comportement horaire de la variante 3 qui dès le début de la journée

*Photo 4-3 Maisons individuelles en construction par la société DAMAC à Sharjah*

montre des meilleurs résultats malgré la forte inclination du soleil dans les premières heures. Les apports de la variante 3 (16 Brise-soleil) représentent moins de la moitié de ceux de la variante 5 (encadrement 1 m) et a 18 h ils représentent moins d'un tiers. Dans les solutions intermédiaires, encadrement 0,5 m et brises -soleil de 8 lames, la solution la plus efficace n'est pas clairement associé a une ou a une autre, ainsi la variante 4, cadre de 50 cm autour des vitrages est plus performante de 3% que la variante 1 de 4 lames de 20 cm, et celle-ci a son tour est moins performant de 3% que la variante 2 de 8 lames de 20 cm. En termes de matière constructive, un encadrement de 50 cm, deux grands cotés latéraux et un petit coté supérieur, a pratiquement la même quantité de matière que 8 lames de 2 cm, toutes du petit coté, mais ces dernières ont plus de travail de découpe et de mise en oeuvre, fixations etc.. et plus chers en coût.

Dans le cas de l'analyse par saisons thermiques les valeurs sont influencés fortement par un nouveau facteur : l'inclination du soleil. Ce paramètre n'aura dans les autres actions qu'une très faible influence, mais sur l'action des protections extérieures il est décisif: une journée type S5 en octobre ne se comportera pas du tout pareil que une journée S5 en mois d'avril, car l'angle d'incidence du soleil ne sera le même.

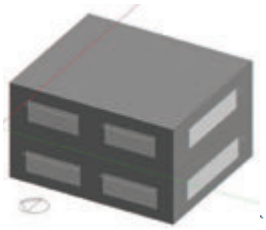
Nous avons tout de même analysé le comportement par saisons thermiques et il en ressort que pour dubaï, ce sont les jours types S3 et S4 qui montrent les plus grandes variations entre solutions. Les variables S3 et S4 sont plus sensibles au dispositif de protection solaire, et les variations de performances varient de 30% (variante 3) au 110% (sans aucune protection) les pourcentages étant en rapport avec la consommation du modèle de base. Dans une discussion plus globale, on constate que la protection solaire d'un bâtiment relève des phénomènes très locaux comme la répartition entre le rayonnement solaire directe et diffus, ou comme la inclination solaire. Ainsi il nous semble évident que cette action architecturale ne peut pas constituer une seule action indépendante mais qu'elle doit naturellement être couplée avec la protection solaire existante directement dans le vitrage, G. Une pour protéger d'avantage les rayonnements solaires directes et l'autre le diffus et les angles avec une incidence très horizontale.

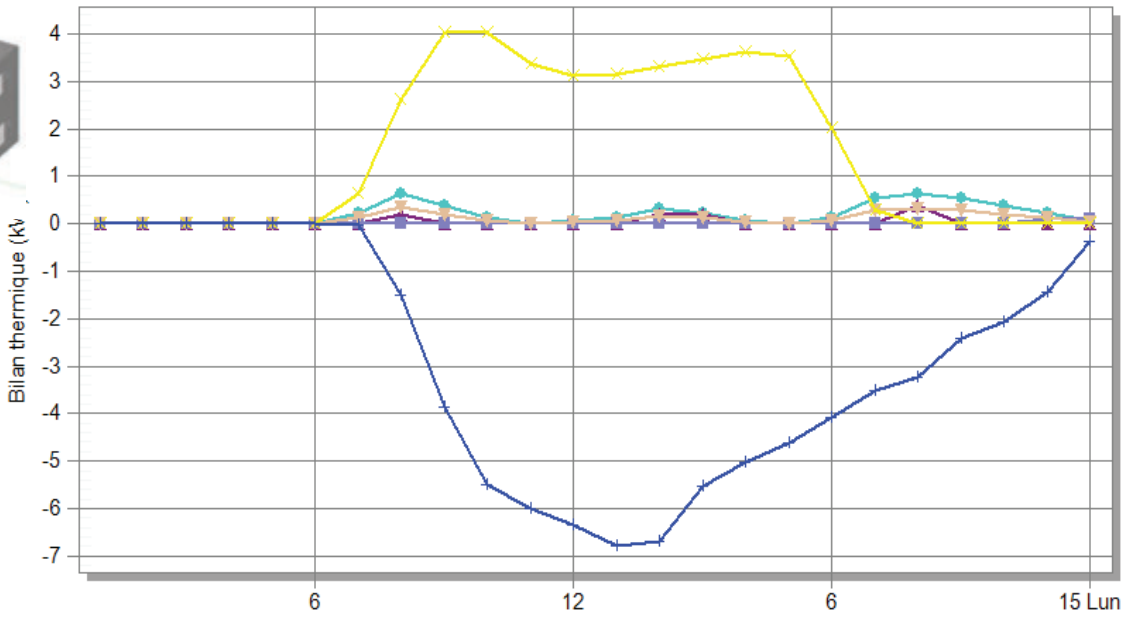
FAISABILITÉ CONSTRUCTIVE

La protection par l'extérieur par encadrement est relativement simple a faire, et souvent vue le nombre réduit de fixations nécessaires elle est plus économique que les brises-soleils. Les murs aussi peuvent assurer cette fonction de brises-soleil de lorsque la menuiserie se situe aligné avec le nu intérieur du mur, et compte tenu d'un épaisseur des murs proches de 50cm, l'encadrement se fait pratiquement tout seul. L'avantage de l'encadrement face au brises-soleil est bien entendu la vue dégagée que les brises-soleils peinent a fournir. L'encadrement peut profiter aussi de l'interface naturel existante entre les murs et les menuiseries pour s'intégrer facilement. Les brises-soleils ce sont des éléments rapportés en façade, de ce fait leur installation implique un certain nombre de difficultés de mise en oeuvre et d'exploitation qui sont inhérentes a ce système de protection: fixation a la façade extérieure avec percement de l'étanchéité éventuelle, gestion visuelle des fixations, ponts thermiques, entretien et nettoyage quotidien, et bien sur la vue filtrée par les lames. Des ces faits le prix est plus élevé que celui des encadrements. Il faut aussi tenir en compte l'état du ciel le long de l'année car si le ciel est clair, les brises-soleils seront donc ideaux pour bloquer une grande partie des radiation solaire, mais en cas de couverture nuageuse ou pollution, les brises-soleils qui sont conçus pour arrêter la lumière directe, ne marchent plus. Dans ces conditions que peuvent s'avérer habituelles par des périodes de durée non négligeable, il est nécessaire l'utilisation de vitrages avec un facteur solaire important.

RÉFÉRENCES CONTEMPORAINES

Il existent des nombreuses références contemporaines et modernes de protection par l'extérieur. La nouvelle ville de Masdar, à Abou Dhabi, montre plusieurs typologies innovantes, Photos 1-167 à 1-177. Nous retrouvons aussi de la protection par l'extérieur dans les opérations plus simples de logements comme montrent les photos 4-3 des maisons individuelles à Sharjah.

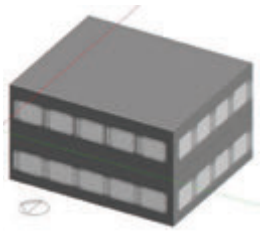


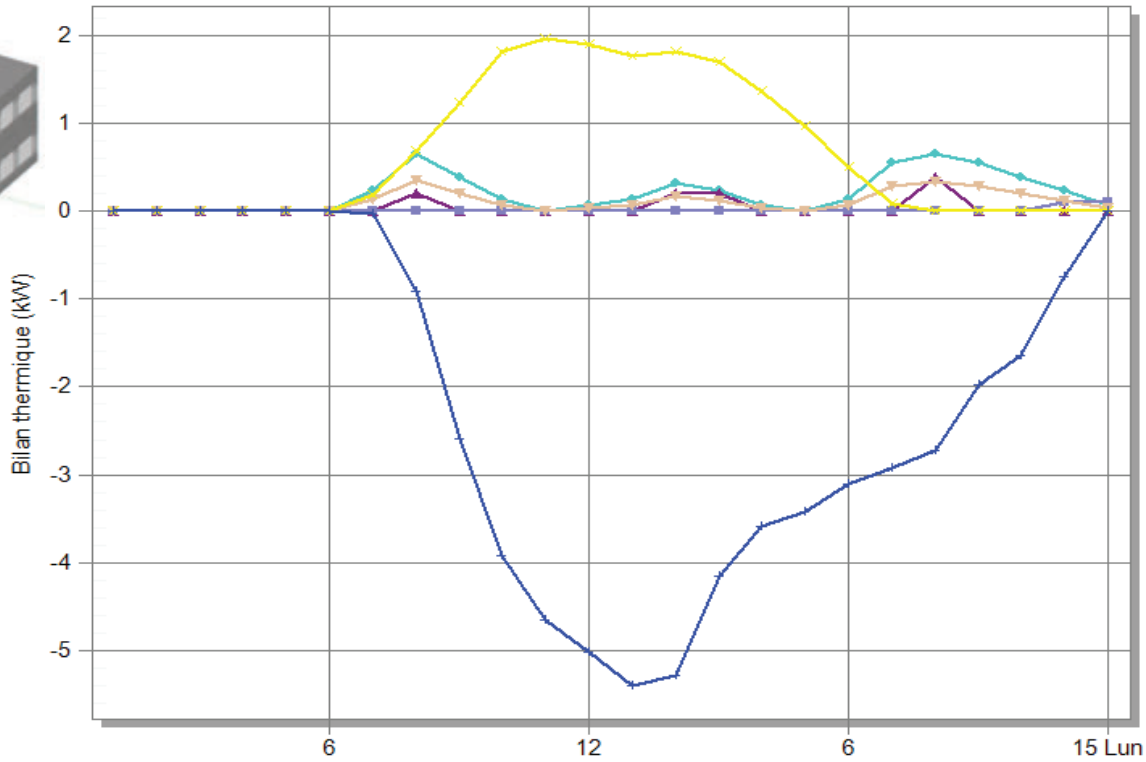



Heure/date

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Eclairage général (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,23 | 0,65 | 0,39 | 0,13 | 0,00 | 0,06 | 0,13 | 0,32 | 0,23 | 0,06 | 0,00 | 0,13 | 0,55 | 0,65 | 0,55 | 0,39 | 0,23 | 0,06 |
| Apports de cuisine (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,38 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Informatiques + Equip. (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,10 |
| Occupation (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,13 | 0,34 | 0,20 | 0,07 | 0,00 | 0,03 | 0,07 | 0,17 | 0,12 | 0,03 | 0,00 | 0,07 | 0,28 | 0,33 | 0,28 | 0,20 | 0,12 | 0,03 |
| Apports solaires Fenêtres extérieures (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,65 | 2,63 | 4,03 | 4,04 | 3,36 | 3,11 | 3,16 | 3,31 | 3,47 | 3,62 | 3,52 | 2,01 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Refroid. Sensible zone (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,04 | -1,51 | -3,85 | -5,50 | -5,99 | -6,34 | -6,79 | -6,68 | -5,54 | -5,03 | -4,61 | -4,09 | -3,53 | -3,22 | -2,42 | -2,06 | -1,44 | -0,36 |

Eclairage général (kW) Apports de cuisine (kW) Informatiques + Equip. (kW)
Occupation (kW) Apports solaires Fenêtres extérieures (kW)
Refroid. Sensible zone (kW)



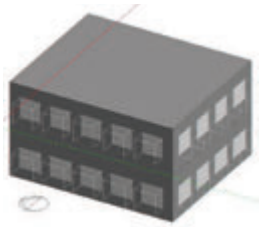


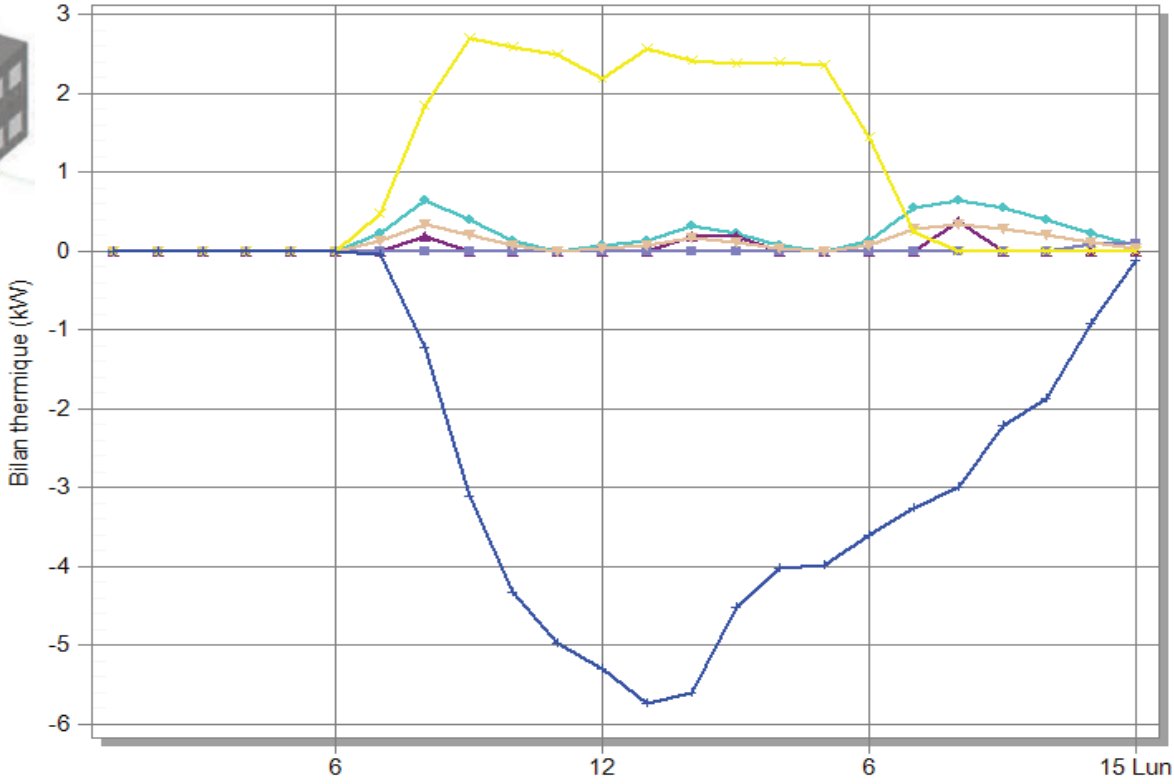

Heure/date

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Eclairage général (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,23 | 0,65 | 0,39 | 0,13 | 0,00 | 0,06 | 0,13 | 0,32 | 0,23 | 0,06 | 0,00 | 0,13 | 0,55 | 0,65 | 0,55 | 0,39 | 0,23 | 0,06 |
| Apports de cuisine (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,38 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Informatiques + Equip. (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,10 |
| Occupation (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,13 | 0,34 | 0,20 | 0,07 | 0,00 | 0,03 | 0,07 | 0,17 | 0,12 | 0,03 | 0,00 | 0,07 | 0,28 | 0,33 | 0,28 | 0,20 | 0,12 | 0,03 |
| Apports solaires Fenêtres extérieures (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,18 | 0,68 | 1,23 | 1,81 | 1,97 | 1,89 | 1,76 | 1,81 | 1,69 | 1,36 | 0,96 | 0,50 | 0,09 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Refroid. Sensible zone (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,03 | -0,91 | -2,58 | -3,93 | -4,65 | -5,02 | -5,40 | -5,28 | -4,16 | -3,59 | -3,43 | -3,11 | -2,92 | -2,73 | -1,97 | -1,64 | -0,74 | -0,01 |

**S5**

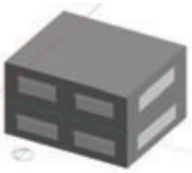
*Figure 4-35 Comparaison des apports solaires horaires entre la maison de base avec une casquette de 50 cm sur les baies vitrées (haut), la maison variante avec des brises-soleil denses de 16 lames (bas) et la maison variante avec un encadrement de 1m autour les 3 cotés, haut et latéraux des baies vitrées (page suivante en haut) pendant journée type S5*



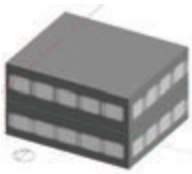



Heure/date

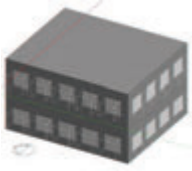
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Eclairage général (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,23 | 0,65 | 0,39 | 0,13 | 0,00 | 0,06 | 0,13 | 0,32 | 0,23 | 0,06 | 0,00 | 0,13 | 0,55 | 0,65 | 0,55 | 0,39 | 0,23 | 0,06 |
| Apports de cuisine (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,38 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Informatiques + Equip. (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,10 |
| Occupation (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,13 | 0,34 | 0,20 | 0,07 | 0,00 | 0,03 | 0,07 | 0,17 | 0,12 | 0,03 | 0,00 | 0,07 | 0,28 | 0,33 | 0,28 | 0,20 | 0,12 | 0,03 |
| Apports solaires Fenêtres extérieures (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,47 | 1,85 | 2,71 | 2,59 | 2,50 | 2,19 | 2,57 | 2,41 | 2,38 | 2,40 | 2,36 | 1,44 | 0,24 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Refroid. Sensible zone (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,03 | -1,22 | -3,11 | -4,34 | -4,98 | -5,30 | -5,75 | -5,61 | -4,52 | -4,03 | -3,99 | -3,62 | -3,26 | -3,00 | -2,22 | -1,87 | -0,91 | -0,11 |



| Jour | |
|---|---|
| Eclairage général (kWh) | 4,76 |
| Apports de cuisine (kWh) | 0,96 |
| Informatiques + Equip. (kWh) | 0,19 |
| Occupation (kWh) | 2,47 |
| Apports solaires Fenêtres extérieures (kWh) | 37,20 |
| Refroid. Sensible zone (kWh) | -69,00 |



| Jour | |
|---|---|
| Eclairage général (kWh) | 4,76 |
| Apports de cuisine (kWh) | 0,96 |
| Informatiques + Equip. (kWh) | 0,19 |
| Occupation (kWh) | 2,48 |
| Apports solaires Fenêtres extérieures (kWh) | 15,92 |
| Refroid. Sensible zone (kWh) | -52,10 |



| Jour | |
|---|---|
| Eclairage général (kWh) | 4,76 |
| Apports de cuisine (kWh) | 0,96 |
| Informatiques + Equip. (kWh) | 0,19 |
| Occupation (kWh) | 2,48 |
| Apports solaires Fenêtres extérieures (kWh) | 26,11 |
| Refroid. Sensible zone (kWh) | -57,87 |

**S5**

*Figure 4-36 Comparaison des apports solaires totaux entre la maison de base et les variantes 3 et 5 pendant journée type S5. La variante 3 (16 brises-soleil ) divise par deux et presque trois les apports des autres deux cas.*

**AXE 01**

# PROTECTION SOLAIRE INTERIEURE AUX VITRAGES

**Économie : 92%**

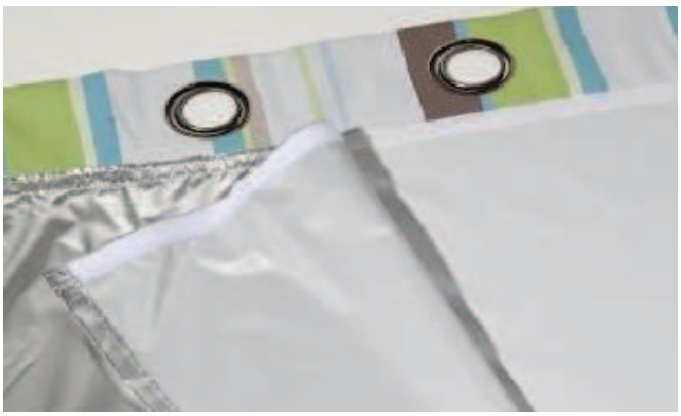
Elle est souvent considérée comme inefficace et au même temps c'est la solution de urgence la plus utilisée lorsque nous ne pouvons bloquer le soleil par l'extérieur. Elle est extrêmement utilisée dans la région du Moyen Orient. Le soleil rentre dans l'enveloppe isolé, les rideaux intérieurs captent la radiation et confinent une forte chaleur proche du vitrage. Les vitrages commencent a radier a leur tour vers l'extérieur évacuant plus de chaleur qui si nous n'avions pas de protection intérieur. Elle a une influence certaine sur la gestion des apports solaires dans la maison, cependant son utilisation empêche aussi la lumière naturelle d'éclairer correctement la maison. Nous ne voulons apporter un jugement sur la qualité architecturale de cette action mais une simple évaluation de son effet sur la consommation. Les concepteurs sauront faire le bilan architectural des pour et des contre de son utilisation.

MODÈLE DE CALCUL E+

Calculé avec EnergyPlus/Design Builder, le modèle de base présente une protection par l'intérieur de qui se mets en place de lors que la menuiserie reçoit le soleil. Deux modèles de rideaux ont été utilisés: le modèle de base fabriqué en tissue courant appelé par Design Builder «Open wave medium» et un rideau de haute

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | DEPENSES ENERGETIQUES | | | | | | POURCENTAGE A LA MAISON DE BASE | | | | | | RECETTES FINANCIERES ECONOMIE ENERGIE | COUT DE L'ACTION ARCHITECTURALE | TEMPS DE REVIENT INVESTISSEMENT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | AN | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | AN % | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | | | |
| | | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | €/an | € | années |
| MODELE DE BASE | 0 | **237,9** | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,7 | **100,0%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | | 0,0 € | 0,0 |
| NO RIDEAUX | 1 1 5 | **241** | 0,03 | 0,09 | 0,05 | 0,46 | 1,73 | **101,3%** | 100% | 90% | 100% | 105% | 102% | -84,1 € | -8 863,1 € | -105,3 |
| RIDEAU REFLECTANT | 1 1 5 | **220** | 0,03 | 0,07 | 0,03 | 0,38 | 1,62 | **92,5%** | 100% | 70% | 60% | 86% | 95% | 480,3 € | 1 772,6 € | 3,7 |

*RIDEAU DE BASE*
*épaisseur: 3 mm*
*conductivité : 0,1 W/mK*
*transmission solaire: 0,7*
*facteur de réflexion solaire: 0,15*
*transmission du rayonnement visible: 0,15*
*émissivité d'onde longue: 0,9*
*transmission d'onde longue: 0*



*RIDEAU VARIANTE «HAUTE REFLECTANCE»*
*épaisseur: 5 mm*
*conductivité : 0,1 W/mK*
*transmission solaire: 0,1*
*facteur de réflexion solaire: 0,8*
*transmission du rayonnement visible: 0,7*
*émissivité d'onde longue: 0,9*
*transmission d'onde longue: 0*

*Figure 4-37 Caractéristiques des deux typologies habituelles de rideaux : rideau simple et rideau haute reflectance. Source : Moondream*

reflectance qui pourra refléter davantage la lumière du soleil vers l'extérieur, ce sont des tissues beaucoup plus opaques avec une finition vers l'extérieur très réfléchissante, ce type de rideaux se trouve habituellement dans les hôtels et maisons de la péninsule arabique. La différence principale est la transmission solaire et le facteur de réflexion solaire qui est obtenu avec un ajout de 0,01% de fibres d'aluminium sur une base de polyester (Figure 4-37).

DISCUSSION

Sans protection solaire nous constatons une consommation de juste 1% supérieure a celle d'un rideau standard sans éléments réfléchissants. Cependant avec un rideau à haute reflectance, la consommation est à 92% de la consommation du modèle de base. C'est intéressant que constater que les plus grands pourcentages de variation ont lieu pendant les saisons S4, S3 et S5 respectivement qui est associé a la meilleure efficacité de réfléchir un rayonnement du soleil plus perpendiculaire au vitrage. La figure 4-39 montre les consommations énergétiques par tranche horaire des journées S3 et S6, dans ces figures on constate que les courbes des consommations gardent sensiblement les mêmes formes, mais avec des valeurs 10% inférieures dans le cas d'utilisation des rideaux réfléchissants.

la limite de la protection solaire des rideaux réfléchissants se trouve dans leur capacité a ne pas transmettre au-delà de l'interstice verre-rideau la chaleur dans la pièce de vie. Pour améliorer cette performance la mise en oeuvre devrait réussir deux points essentiels : empêcher l'air chaud de s'échapper en partie haute et chauffer la maison, et réduire au maximum la transmission surfacique par conductivité du matériau constituant le rideaux. Plus sera efficace ce confinement de l'air entre le rideau et le vitrage, et plus sera basse la conductivité thermique (w/mK) plus sera important les économies d'énergie même s'une utilisation excessive des rideaux réfléchissants aurait comme conséquence une hausse de la consommation de l'éclairage artificiel pour compenser l'occultation.

FAISABILITÉ CONSTRUCTIVE

La protection par l'intérieur est une ressource qui peut être mise en place a tout moment dans une habitation. Elle est facile et économique a mettre en place, et c'est là qui réside son intérêt, la contrepartie de cette mesure est la réduction drastique de lumière naturelle a compenser par un éclairage artificiel. Aujourd'hui nous trouvons des produits chez les industriels des rideaux qui proposent des propriétés a haute réflexion solaire et ces produits sont vendus sous le nom de «rideaux anti-chaleur» (Figure 4-38).



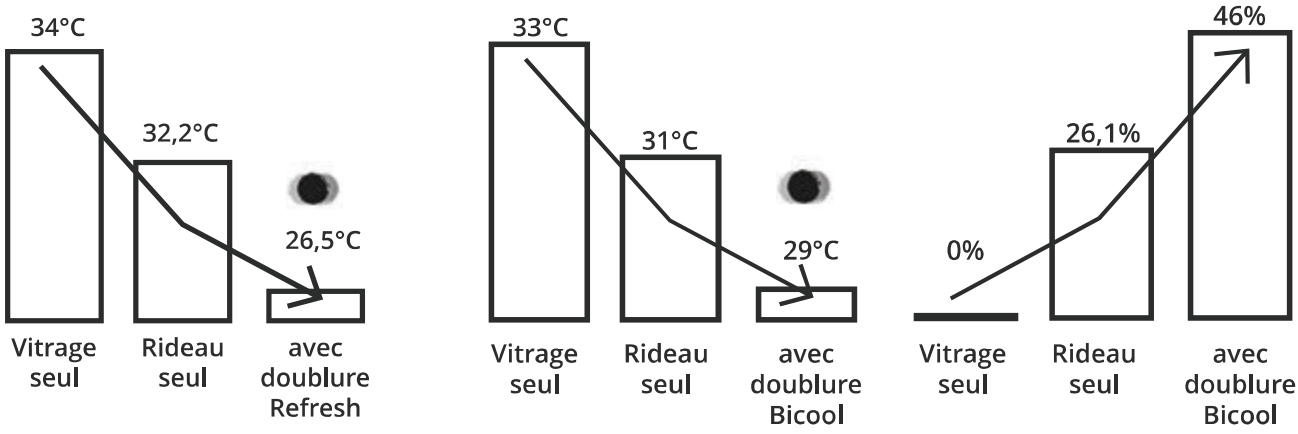
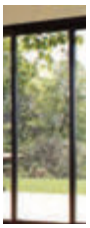
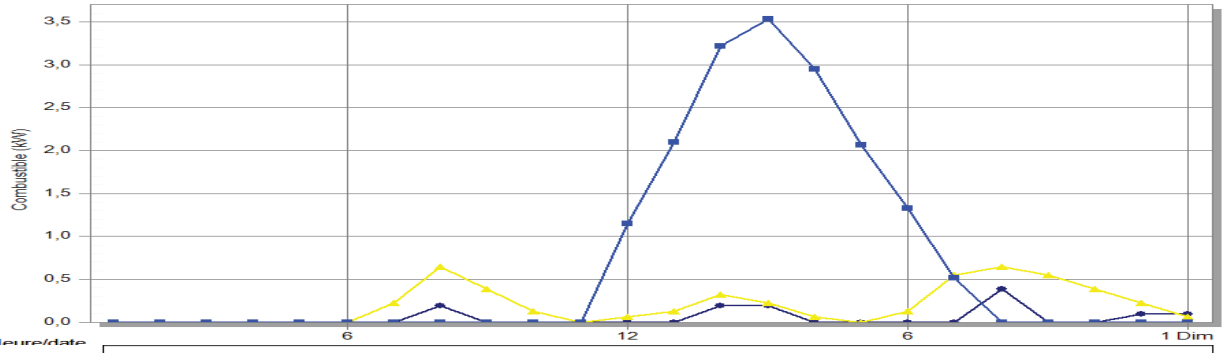



*Figure 4-38 Explication graphique pour grand publique des avantages de rideaux à haute reflectance aussi appelées «rideaux anti-chaleur». Source : Moondream*

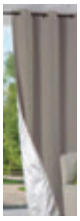
*Pas de rideau intérieur*

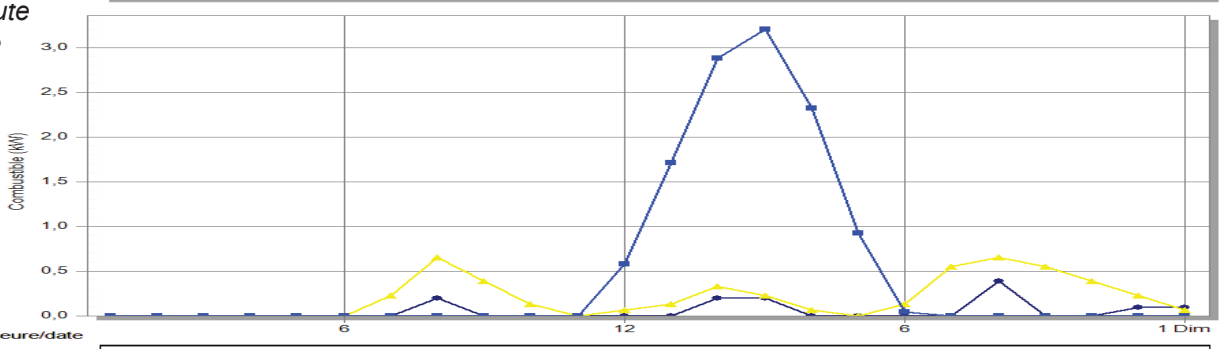





| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Electricité pour la zone (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,38 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,10 |
| Eclairage (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,23 | 0,65 | 0,39 | 0,13 | 0,00 | 0,06 | 0,13 | 0,32 | 0,23 | 0,06 | 0,00 | 0,13 | 0,55 | 0,65 | 0,55 | 0,39 | 0,23 | 0,06 |
| Climatisation (Electricité) (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,15 | 2,10 | 3,21 | 3,53 | 2,95 | 2,06 | 1,33 | 0,52 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

*Rideau haute réflectance*

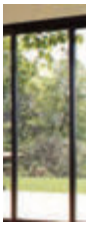


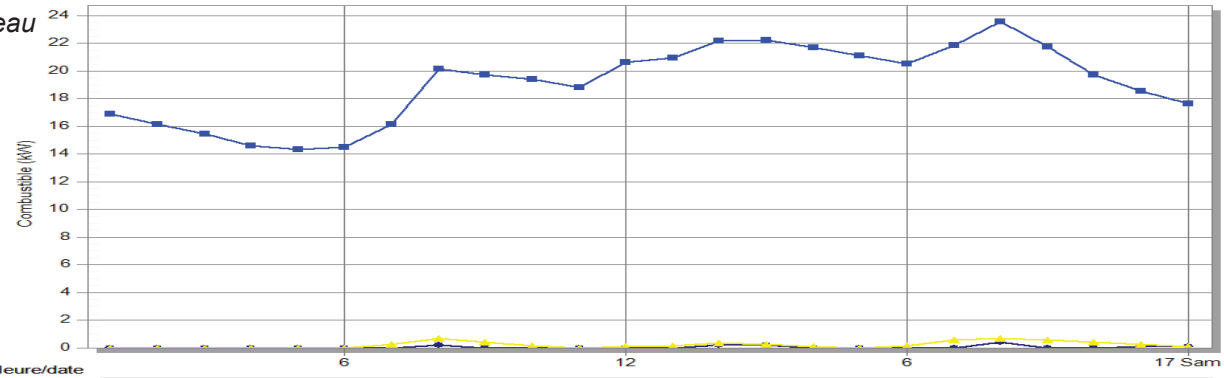



| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Electricité pour la zone (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,38 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,10 |
| Eclairage (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,23 | 0,65 | 0,39 | 0,13 | 0,00 | 0,06 | 0,13 | 0,32 | 0,23 | 0,06 | 0,00 | 0,13 | 0,55 | 0,65 | 0,55 | 0,39 | 0,23 | 0,06 |
| Climatisation (Electricité) (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,58 | 1,71 | 2,88 | 3,20 | 2,32 | 0,92 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

**S3**

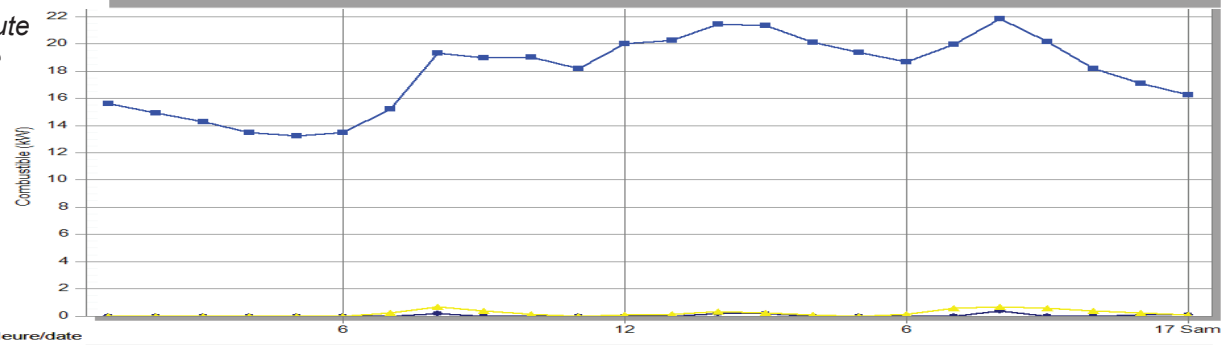
*Pas de rideau intérieur*






| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Electricité pour la zone (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,38 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,10 |
| Eclairage (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,23 | 0,65 | 0,39 | 0,13 | 0,00 | 0,06 | 0,13 | 0,32 | 0,23 | 0,06 | 0,00 | 0,13 | 0,55 | 0,65 | 0,55 | 0,39 | 0,23 | 0,06 |
| Climatisation (Electricité) (kW) | 16,92 | 16,14 | 15,45 | 14,62 | 14,32 | 14,48 | 16,16 | 20,14 | 19,73 | 19,39 | 18,80 | 20,66 | 20,94 | 22,20 | 22,22 | 21,68 | 21,11 | 20,55 | 21,85 | 23,60 | 21,78 | 19,73 | 18,56 | 17,67 |

*Rideau haute réflectance*




| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Electricité pour la zone (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,38 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,10 |
| Eclairage (kW) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,23 | 0,65 | 0,39 | 0,13 | 0,00 | 0,06 | 0,13 | 0,32 | 0,23 | 0,06 | 0,00 | 0,13 | 0,55 | 0,65 | 0,55 | 0,39 | 0,23 | 0,06 |
| Climatisation (Electricité) (kW) | 15,62 | 14,93 | 14,27 | 13,50 | 13,24 | 13,46 | 15,23 | 19,32 | 18,96 | 19,01 | 18,19 | 20,00 | 20,26 | 21,44 | 21,35 | 20,11 | 19,36 | 18,70 | 19,94 | 21,87 | 20,15 | 18,20 | 17,09 | 16,27 |

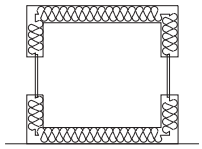
Electricité pour la zone (kW) Eclairage (kW) Climatisation (Electricité) (kW)

**S6**

*Figure 4-39 Variation la consommation énergétique de la maison en fonction des deux situations : pas de rideaux, et rideaux haute réflectance pour deux journées types S3 (haut) et S6 (bas).*

# ISOLATION THERMIQUE DES PAROIS

## Économie : 80%



Dans les pays au climat très chaud est rare de voir des épaisseurs importants d'isolation des murs, et dans la plupart des cas elle n'existe même pas. Ce constat ne peut que nous inviter à nous questionner pourquoi les peuples aux climats chaud n'ont-ils pas le réflexe d'isoler à tout prix, comme le font souvent les habitants en climat froid ? Quelle est l'influence de la resistence thermique de l'isolant dans la consommation énergétique ?

MODÈLE DE CALCUL E+

Calculé avec EnergyPlus/Design Builder, le modèle de base présente une isolation de 10 cm aux murs, 20 cm dans la toiture et pas d'isolation sous la dalle basse du RdC. Quatre autres modèles ont été testés: un modèle sans isolation, un modèle de faible épaisseur, 5 cm de XPS dans les murs et toiture; un de forte isolation, 20 cm aux murs et 30 cm en toiture; un modèle avec isolation de 20 cm sous la dalle basse du RdC, et finalement une combinaison «à très forte isolation» des deux derniers.

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | DEPENSES ENERGETIQUES | | | | | | POURCENTAGE A LA MAISON DE BASE | | | | | | RECETTES FINANCIERES ECONOMIE ENERGIE | COUT DE L'ACTION ARCHITECTURALE | TEMPS DE REVIENT INVESTISSEMENT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | AN | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | AN % | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | €/an | € | années |
| | | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | | | |
| MODELE DE BASE | 0 | 237,9 | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,7 | 100,0% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | | 0,0 € | 0,0 |
| NO ISOLATION | 1 2 1 | 301 | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,63 | 2,09 | 126,5% | 100% | 100% | 100% | 143% | 123% | -1 696,9 € | -11 995,7 € | -7,1 |
| ISOLATION FAIBLE 5cm | 1 2 1 | 249 | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,47 | 1,78 | 104,7% | 100% | 100% | 100% | 107% | 105% | -299,2 € | -5 931,8 € | -19,8 |
| ISOL.FORTE 20/30cm | 1 2 1 | 237 | 0,03 | 0,1 | 0,04 | 0,44 | 1,7 | 99,6% | 100% | 100% | 80% | 100% | 100% | 23,4 € | 7 884,2 € | 337,1 |
| ISOLATION PbRdC20cm | 1 2 1 | 194 | 0,03 | 0,1 | 0,08 | 0,43 | 1,36 | 81,6% | 100% | 100% | 160% | 98% | 80% | 1 179,2 € | 4 152,4 € | 3,5 |
| ISOL. FORTE+PbRdC20cm | 1 2 1 | 190 | 0,03 | 0,1 | 0,08 | 0,42 | 1,33 | 79,9% | 100% | 100% | 160% | 95% | 78% | 1 286,7 € | 12 036,7 € | 9,4 |

DISCUSSION

La différence entre la température de confort et la température extérieure extrême en climat chaud peut atteindre 20ºC. En climat froid cette différence de température peut atteindre 40ºC en journée et la nuit la situation est plus défavorable. Les isolations extérieures dans les pays froids aux épaisseurs minimales de 20 cm témoignent de cette différence. En climat chaud, la réduction de l'épaisseur de l'isolant aux murs de la moitié (5 cm) montre une surconsommation de 104,7%. L'augmentation de l'épaisseur de l'isolant du double (épaisseur totale de 20 cm) produit a l'année une baisse de la consommation de moins de 1% ce qui nous parait un gain énergétique très faible mais qui pourrait se justifier par les raisons des faibles écarts de température en comparassions aux climats froids.

Le plancher bas du RdC dans le modèle de base n'est pas isolé ce qui peut perturber les résultats a cause des hautes températures du sol dans le modèle thermique. Si nous incluons le paramètre d'isolation du plancher bas, les performances s'accentuent et le gain énergétique est de 82,4%, ce qui pose question sur la validité de la valeur de la température du sol choisie. En tout cas et pour annuler un éventuel interférence de la température du sol, nous avons comparé le comportement de l'ajout d'isolation avec ou sans isolation de la dalle basse. L'isolation du PbRdC a une incidence négative sur la consommation de la journée type S4, il semble que la maison ne peut pas profiter de la charge thermique disponible du sol pour chauffer/refroidir ou tout simplement la température du sol étant importante, la maison isolée ne permet à la maison de faire rentrer la chaleur le soir lorsque il est nécessaire. Les conclussions sommaires à ressortir de ce volet sont que, une isolation même faible est très important pour les économies d'énergie. Le deuxième point est moins évident et montre que au-delà de 10 cm d'isolation, les gains en énergie sont très faibles et ne justifient pas le surcoût de l'isolation. Il n'est pas moins intéressant de voir comment l'isolation du sol est préjudiciable dans la saison S4 avec une consommation de 160% de la base de référence.

La figure 4-40 montre la consommation électrique finale de la maison le long des journées type S4, et S6, sous différentes conditions d'isolation les trois pics majeurs de consommation qui sont associés à la montée de la température extérieure mais aussi aux pics d'activités de la maison. Cette figure montre clairement

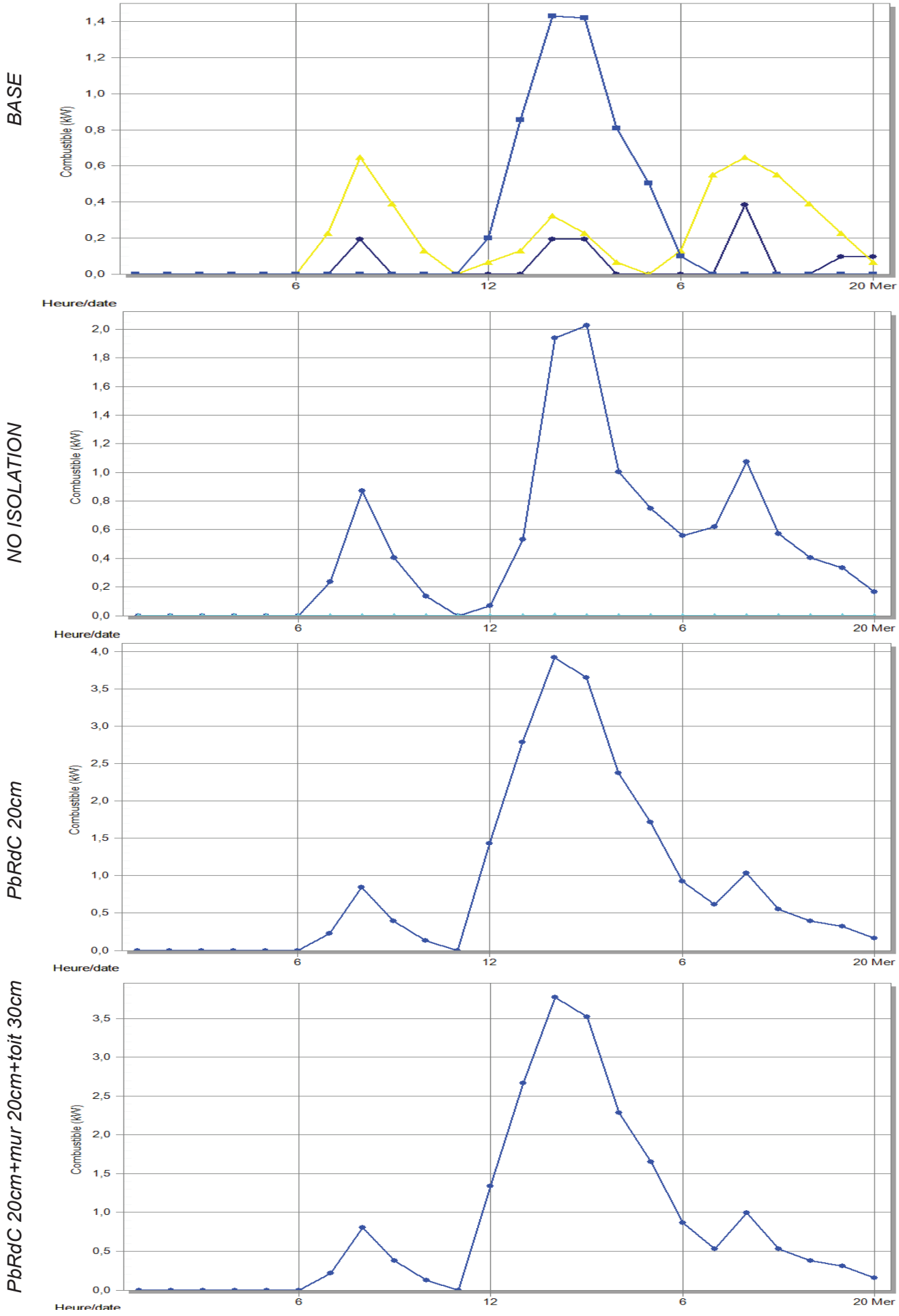
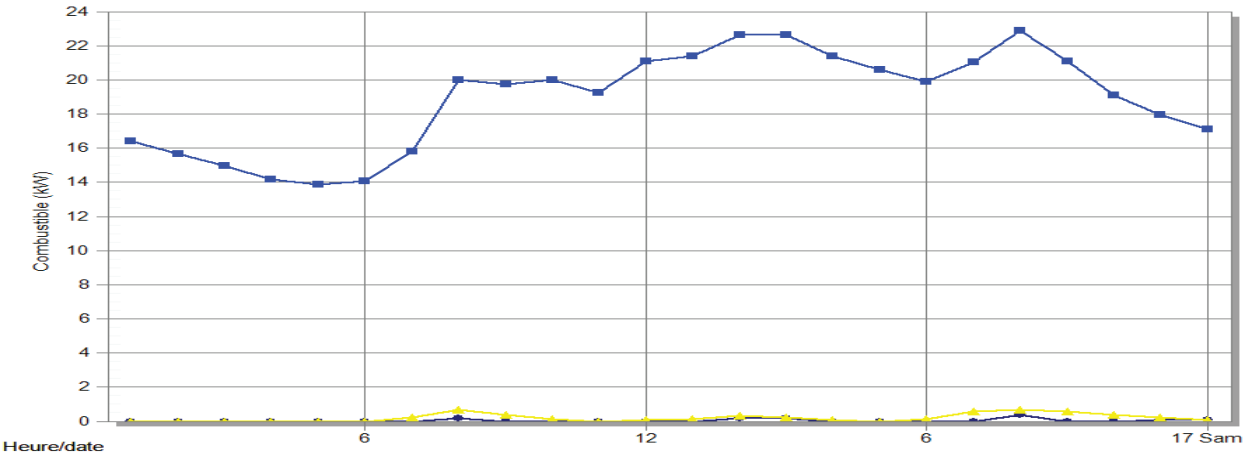
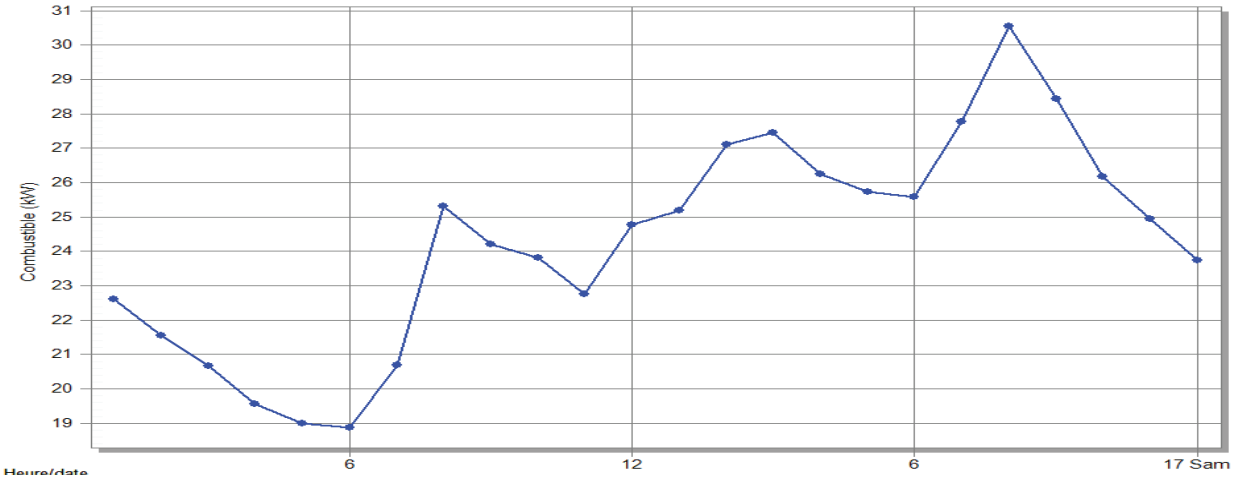



*Figure 4-40 Réponses thermiques de la maison en fonction du choix d'isolation et de la saison thermique.*

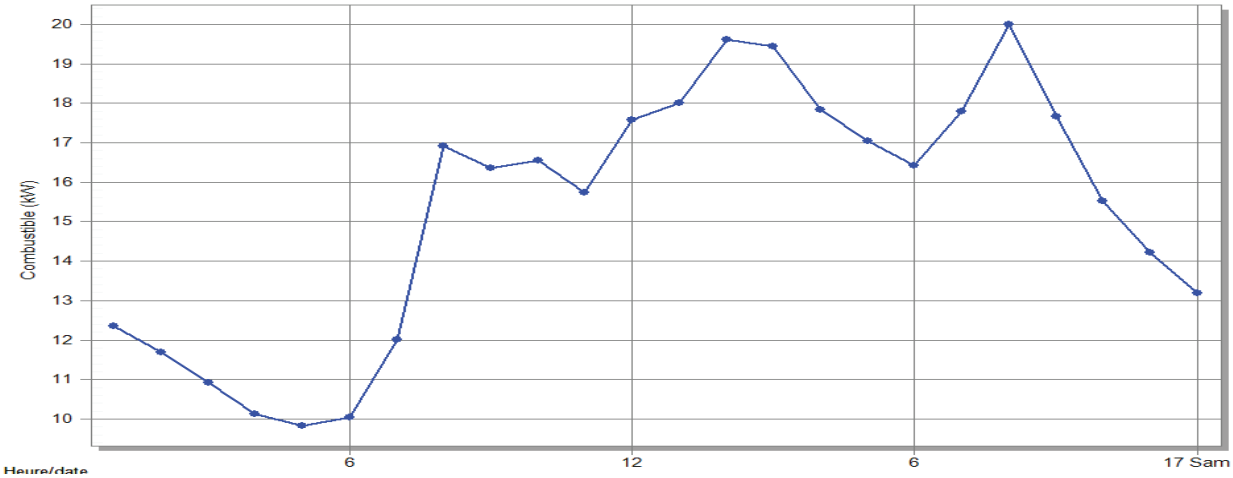
BASE



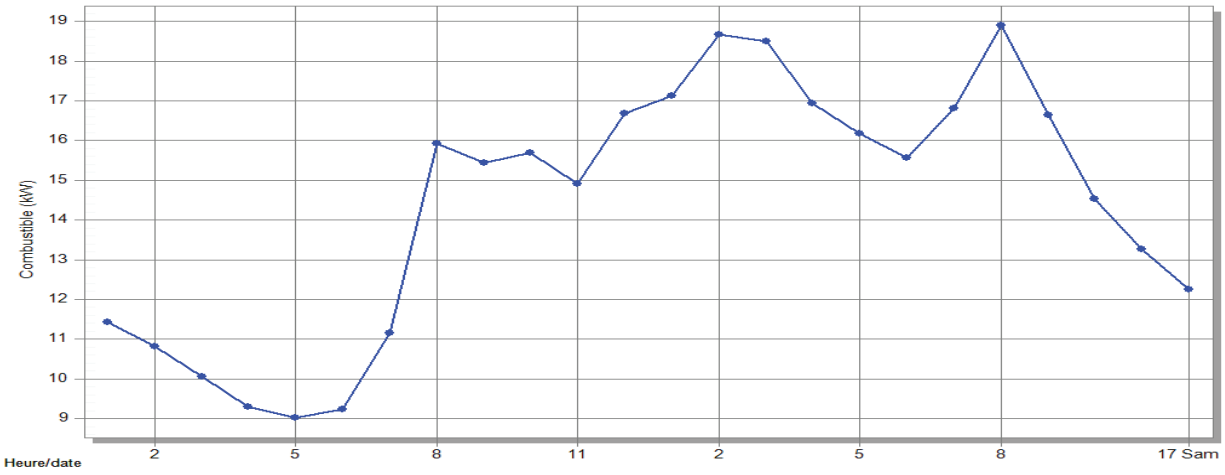

NO ISOLATION




PbRdC 20cm




PbRdC 20cm+mur 20cm+toit 30cm




S6

4 Actions

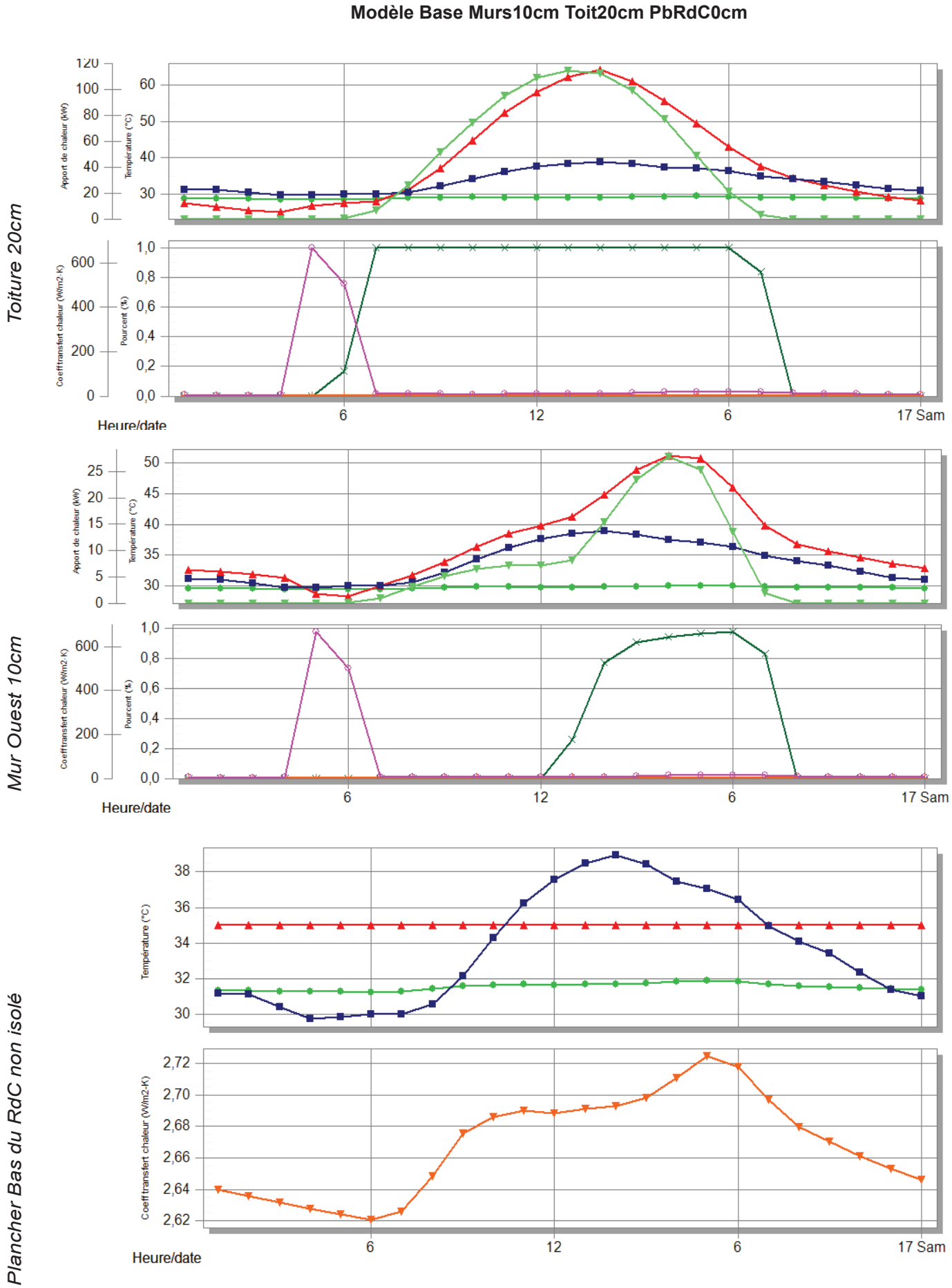
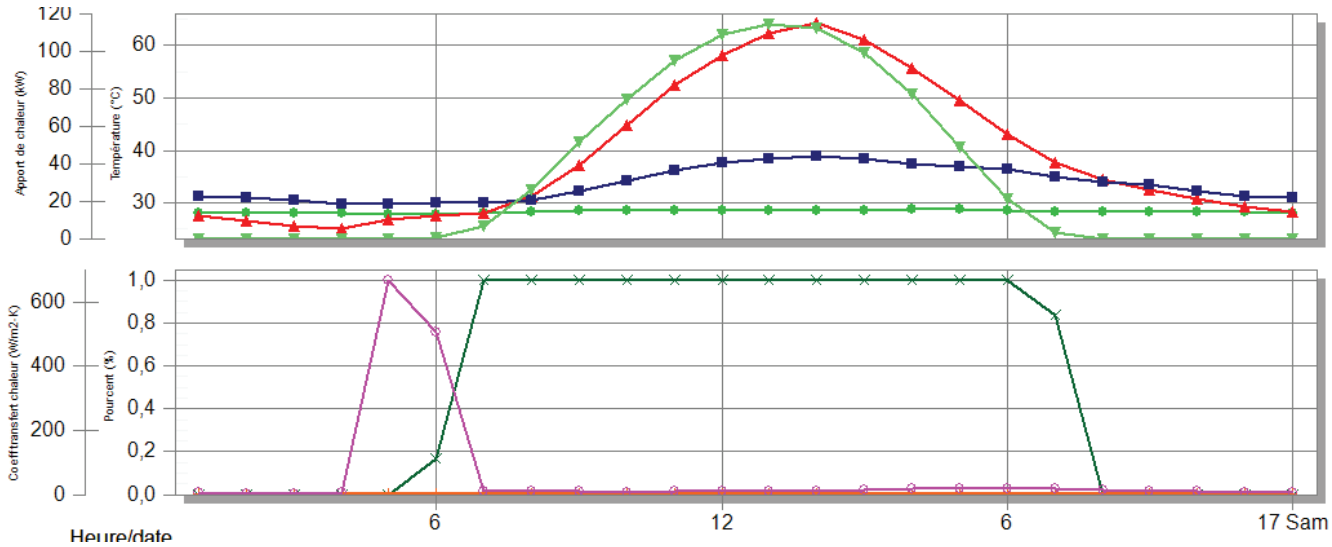
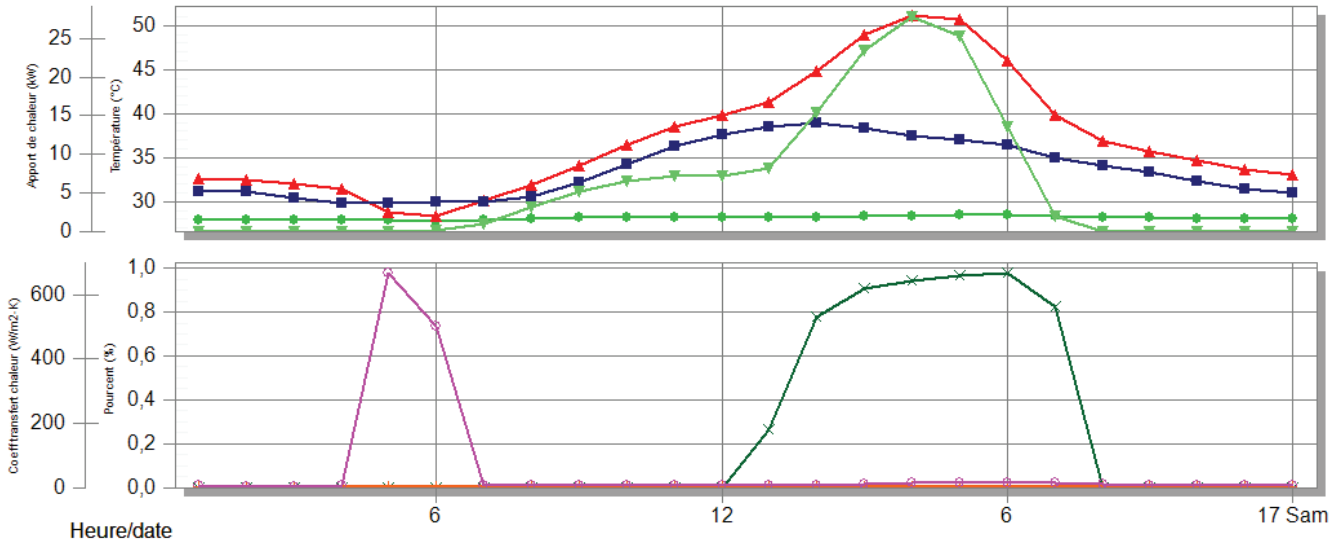
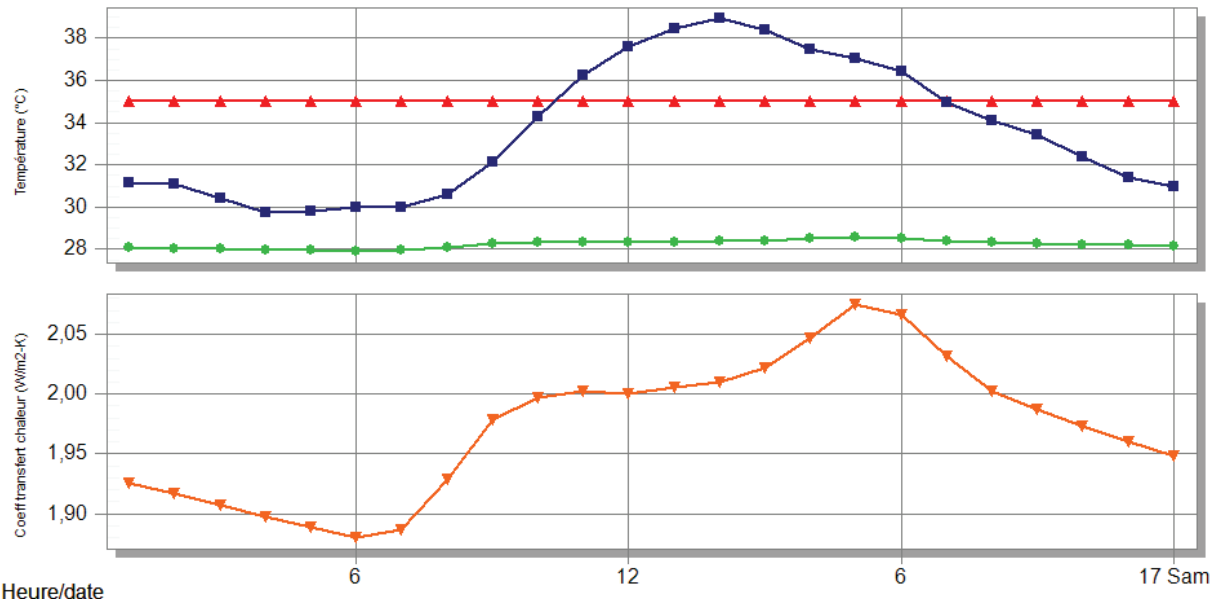



*Figure 4-41 Réponses thermiques de la maison de base (ci dessus) et la variante «isolation forte» (page suivante) en fonction des épaisseurs de l'isolation en saison thermique S6.*

## Isolation FORTE Murs20cm Toit30cm PbRdC20cm




**S6**

T° int surface (°C) T° ext surface (°C) Température Sèche Air Extérieur (°C)
Coeff int convection (W/m2-K)

4 Actions

comment, en S4, la mise en oeuvre d'une isolation sous le plancher bas du RdC, implique une augmentation des consommations du double que la maison de base. Nous formulions dans des lignes précédentes une hypothèse sur la températures du sol et comment des températures chaudes du sol dans la nuit du S4 pourraient aider a consommer moins de chauffage nocturne, mais nous constatons que les différences de consommation entre isolation ou pas du PbRdC se produisent pendant la journée ce qui écarte d'emblée cette hypothèse car pendant la journée la maison veut se protéger de la chaleur et un sol chaud ne pourrait que produire des consommation supplémentaires.

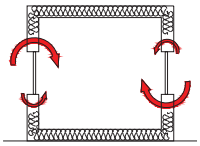
Nous nous sommes intéressés au comportement de trois parois représentatives du comportement de la maison (Figure 4-41) : le plancher bas du RdC, le mur ouest du RdC et la toiture, avec une comparassion isolation forte / isolation moyenne (modèle de base) pour la journée type S6 pour voir les incidences sur la température de la paroi a l'intérieur. Nous constatons pour la toiture les plus hautes températures extérieures, proches de 65ºC en surface, mais la plus basse variation de température intérieur entre les deux modèles, ceci est normal car les épaisseurs sont déjà très importants à la base, les températures de l'intérieur du plafond ont une variation de moins de 1ºC. Pour les murs la variation de température est plus de l'ordre de 1,5ºC avec des températures de surface extérieures proches de 50ºC. C'est le plancher bas qui expérimente la plus grosse variation de température, 3ºC, avec la plus petite température de surface extérieure constante de 35ºC. Ce plancher bas a, dans le cas de la maison de base (non isolée sous le PbRdC), des températures radiatives de la face intérieure du plancher (déjà dans la maison) de 31ºC environs, ceci veut dire que dans notre modèle thermique, le RdC de la maison de base est une source permanente de chaleur qui loin de lisser les températures intérieures, elle représente une charge thermique importante. Cette même température intérieure dans le cas de la variante avec le PbRdC isolé est de 28ºC ce qui est similaire aux autres températures radiatives des murs de la maison, ce qui montre que le flux de chaleur est très réduit . Ceci explique pourquoi l'isolation de la dalle basse produit des telles économies d'énergie.

FAISABILITÉ CONSTRUCTIVE

Dans les pays de culture arabe du Moyen Orient, l'usage de revêtements minéraux est très répandu. La solidité intérieur, et le savoir faire ancestral autour de la maçonnerie font que l'isolation par l'intérieur est souvent accompagné d'une cloison en maçonnerie mince pour finir la paroi. En effet les anciens, et même sur de nombreux exemples actuels ils construisent avec deux couches de maçonnerie séparées par une lame d'air. L'isolation est venue après comme mesure exceptionnelle. D'abord 3 cm, parfois 5 cm et seulement dans les cas les plus exceptionnels nous avons trouvé 10 cm. Jamais au-delà. En tout cas la variation d'épaisseur a l'intérieur de la paroi ne pose aucun problème supplémentaire. La question n'est pas la même si nous voulons isoler par l'extérieur dans un environnement aussi dur le revêtement doit être très résistant au passage du temps, et seulement un enduit grillagé, une couche rapportée de maçonnerie ou un bardage métallique peuvent jouer convenablement ce rôle. Les systèmes de XPS en ITE avec un enduit grillagé pourraient être particulièrement bien adaptés à cette fonction. En tout cas rien n'empêche l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant autre que le prix de revient de celui-ci. Une question qui sera abordée un peu plus tard dans cette étude est la position de la couche de barrière de la vapeur de l'eau, le pare-vapeur. Effectivement la position du pare-vapeur doit être entre l'air chaud et humide et le début de l'isolation vers un univers plus frais et sec. Ainsi dans ce climat, et pratiquement toute l'année, la bonne position du pare-vapeur est entre la face extérieure de l'isolation et l'extérieur. Cela signifie que la paroi extérieure a un rôle majeur à jouer «parevapeur-parepluie résistant aux intempéries et au soleil», elle est une des clefs de la réussite d'un projet.

# SUPPRESSION DES PONTS THERMIQUES

## Économie : 96%



Les ponts thermiques de l'enveloppe produisent des apports d'énergie à l'intérieur de la maison. Ceci est leur seul effet préjudiciable, contrairement aux ponts thermiques en climat froid qui induisent de la condensation à l'intérieur de la maison avec le risque bactérien et des salissures dans les murs et plafonds. Quel sont les cas des ponts thermiques le plus habituels? : le nez de dalle des planchers, balcons et les acrotères de la toiture.

MODÈLE DE CALCUL

Calculé avec EnergyPlus/Design Builder, la variante proposée a supprimé tous les ponts thermiques entre les différentes couches constructives

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | DEPENSES ENERGETIQUES | | | | | | POURCENTAGE A LA MAISON DE BASE | | | | | | RECETTES FINANCIERES ECONOMIE ENERGIE | COUT DE L'ACTION ARCHITECTURALE | TEMPS DE REVIENT INVESTISSEMENT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | AN | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | AN % | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | | | |
| | | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | €/an | € | années |
| MODELE DE BASE | 0 | **237,9** | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,7 | **100,0%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | | 0,0 € | 0,0 |
| ITI-SUPPRESSION 100% | 1 2 2 | **228** | 0,03 | 0,1 | 0,04 | 0,42 | 1,64 | **95,9%** | 100% | 100% | 80% | 95% | 96% | 265,3 € | 8 880,0 € | 33,5 |

DISCUSSION

La suppression des ponts thermiques de l'enveloppe génère une consommation de 95,9% de la consommation de référence, soit un gain de 4,1%. Si l'isolation est par l'intérieur, l'efficacité de cette mesure est relative puisque la suppression de tous les ponts thermiques risque d'être très laborieuse voir impossible, et le coût très important. La suppression des ponts thermiques linéaires associés au contact des planchers avec les murs ainsi que les murs de refends intérieurs en contact avec l'extérieur est seulement viable en climat chaud si l'isolation est par l'extérieur, dans ce cas là la question ne se pose pas car les ponts thermiques les plus importants son de facto supprimés. En effet avec la même configuration de performance les temps de retour sont très différents entre un ITE (isolation thermique par l'extérieur) et un ITI (isolation thermique par l'interieur) à cause du prix de l'action : l'ITE n'as pas de surcoût associé, alors que l'ITI est lui très important à cause du coût encore existant des rupteurs de ponts thermiques.

FAISABILITÉ CONSTRUCTIVE

Aujourd'hui la technologie des rupteurs de ponts thermiques est encore peu accessible au grand public et encore moins dans les pays du Moyen Orient. La première raison est le coût élevé de ces éléments, qui atteint très rapidement des valeurs prohibitives. Le manque d'expérience des artisans locaux et la méconnaissance des spécificités de ce type produit, conductivité linaire, mise en place pendant le chantier, difficulté à maîtriser le détail constructif en amont pour ce type de produits..., font que son utilisation aujourd'hui n'est pas d'actualité au Moyen Orient. Cependant, les produits existants sur le marché européen sont très adaptés pour une utilisation en climat chaud. Le schéma X montre les produits disponibles sur le marché de la marque Schöck, entreprise Franco-allemande, qui pourraient être facilement utilisés au Moyen Orient, de par sa spécificité très orientée vers la maçonnerie.

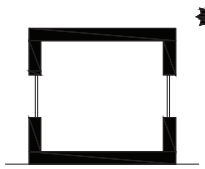
RÉFÉRENCES CONTEMPORAINES

Nous n'avons pas trouvés des références des rupteurs de ponts thermiques au Moyen Orientlors de toutes nos visites. Ceci ne signifie pas que des exemples ne puissent pas exister.

AXE 01

# PERFORMANCE DES FENÊTRES

## Économie : 88%



Les fenêtres sont dans la même problématique que la super isolation, les différences entres l'extérieur et l'intérieur ne sont pas aussi extrêmes que en climat froid, le rôle des fenêtres est double: d'une part la suppression de pertes par conduction avec un Uw performant mais d'autre part la filtration du soleil par le facteur solaire, G, du vitrage. La performance liée aux ouvertures dans un bâtiment de basse consommation est un sujet très vaste en soi. Nous essayons juste de simplifier les performances les plus importantes pour faciliter la prise de décision. Les fenêtres peuvent apporter de l'énergie à notre maison par deux mécanismes: la conduction à travers la surface de la fenêtre (vitre et cadre) et la radiation du rayonnement solaire qui traverse la fenêtre.

MODÈLE DE CALCUL E+

Calculé avec EnergyPlus/Design Builder, le modèle de base avec un double vitrage de Ug=2,5kW/m2K a été comparé avec deux modèles supplémentaires de vitrages, un triple vitrage classique et très performant 6-13-6-13-6 avec remplissage en argon, avec un Ug=0,6kW/m2K et un vitrage teinté avec une haute performance solaire, G=0,15 et TL=0,2

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | DEPENSES ENERGETIQUES | | | | | | POURCENTAGE A LA MAISON DE BASE | | | | | | RECETTES FINANCIERES ECONOMIE ENERGIE | COUT DE L'ACTION ARCHITECTURALE | TEMPS DE REVIENT INVESTISSEMENT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | AN | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | AN % | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | | | |
| | | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | €/an | € | années |
| MODELE DE BASE | 0 | **237,9** | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,7 | **100,0%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | | 0,0 € | 0,0 |
| SV Ug:5,8 (6mm) | 1 2 3 | **256** | 0,03 | 0,14 | 0,06 | 0,49 | 1,81 | **107,6%** | 100% | 140% | 120% | 111% | 106% | -487,3 € | -7 027,2 € | -14,4 |
| TV Ug0,6 (6-13-6-13-6) | 1 2 3 | **230** | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,43 | 1,65 | **96,7%** | 100% | 100% | 100% | *98%* | 97% | 211,5 € | 7 836,1 € | 37,0 |
| OBSCURE G:0,15 TL:0,2 | 1 2 3 | **209** | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,34 | 1,57 | **87,9%** | 100% | 30% | 60% | 77% | 92% | 776,0 € | 21 623,0 € | 27,9 |
| VITRE OBSCURE CE | 1 2 3 | **210** | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,35 | 1,58 | **88,3%** | 100% | 30% | 60% | 80% | 93% | 749,1 € | 21 623,0 € | 28,9 |

DISCUSSION

Pour analyser l'influence de la conduction, nous comparons le modele de base ave le double vitrage avec la premiere variante en simple vitrage : il y a une variation de performance de 7,6% et une différence du temps de retour entre les deux de 14 ans. Entre le double vitrage de base et le triple vitrage du deuxième modèle la variation est de 3,3%. Par contre au vu de la différence de prix entre le double/triple, le temps de retour est de 37 ans. Aujourd'hui des retour d'investissement sur 37 ans sont dificiles de justifier, et le choix en double vitrage s'impose largement dans la region.

Pour analyser la participation des vitrages a bloquer la radiation solaire nous regardons les effets sur la diminution du facteur solaire des vitrages (G) de 0,45 (modele de base) à 0,15 (variante). Cette variation apporte une baisse de la consommation de 87,9% par rapport au modèle de base, cependant il faut etre conscient que un G de 0,15 est déjà une une performance en soit et que les valeurs maximum habituels sont de G=0,25. Neamoins, cette performance est supérieure à celle de brises-soleils extérieurs mais son usage implique un choix architectural très marqué par un aspect extérieur des vitrages très obscurs et/ou réfléchissants.

Dans les trois modèles utilisés (Figure 4-42), les besoins d'éclairage varient légèrement uniquement entre le vitrage avec une protection solaire et les autres deux. Cette variation est tout de même peu significative : 84% de consommation supplémentaire dans la tranche horaire de 8h a 9h du matin en S·. et presque imperceptible le reste de la journée S3 et S6. Avec le double vitrage la maison a, en S3, un pic de besoin de puissance à 15h de 4,2kW, avec le triple vitrage il est de 3,5 kW et avec le vitrage solaire le pic de besoin est de 1,3 kW. Dans une journée S6, les différences sont moindres avec un pic de besoins pour le double vitrage de 23,8 kW, pour le triple vitrage de 22 kW et pour le vitrage solaire de 21,3 kW.

FAISABILITÉ CONSTRUCTIVE

La péninsule arabique étant en plein essor constructif, les fournisseurs de menuiseries ne manquent pas. Cependant pour les projets de maisons individuelles nous ne trouvons pas de fournisseurs excessivement techniques, car les grandes groupes de menuiseries se sont orientés vers les projets d'hôtels, bureaux et grandes ensembles résidentiels. Toutefois les menuiseries à simple, double, triple ou a bas facteur solaire, sont toutes disponibles dans le marché local. Un des fournisseurs locaux, la marque Tamco, avec une des usines à Sharjah, montre sur leur site internet les produits disponibles sur place, et produits dans la région du Moyen Orient.

RÉFÉRENCES CONTEMPORAINES

Dans l'architecture contemporaine arabe, nous trouvons presque systématique les verre de bas G et TL. Un exemple emblématique de ce type de vitrage et l'opération des gratte-ciels qui s'est construit a proximité de la mosque, Al-Haram, premier lieux saint des musulmans au monde, et qui héberge la Kabba. Toutes les tours d'hôtels et bureaux construites autour ont des vitrages avec un traitement solaire et sans protection extérieur (Photo 4-4). En dehors des bâtiments emblématiques des nombreuses références existent dans les villes arabes. Cette type de vitrage est devenu d'ailleurs une caractéristique souvent associée à l'architecture recentre de la région.

*Photo 4-4 Tour d'hôtel de la Royal Clock Tower et d'autres bureaux et hôtels à La Mecque, Arabie Saoudite. Crédit : unconnu*

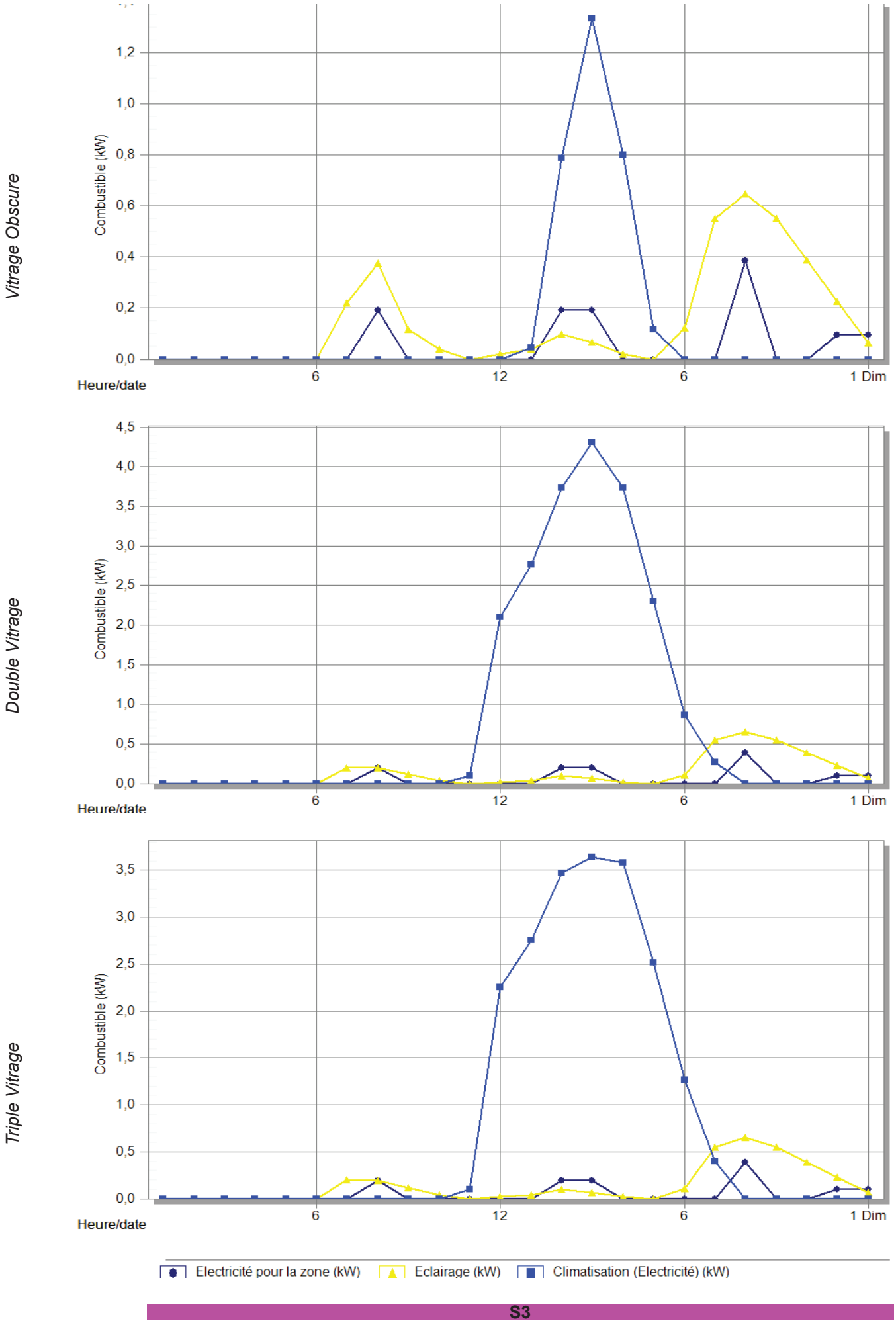
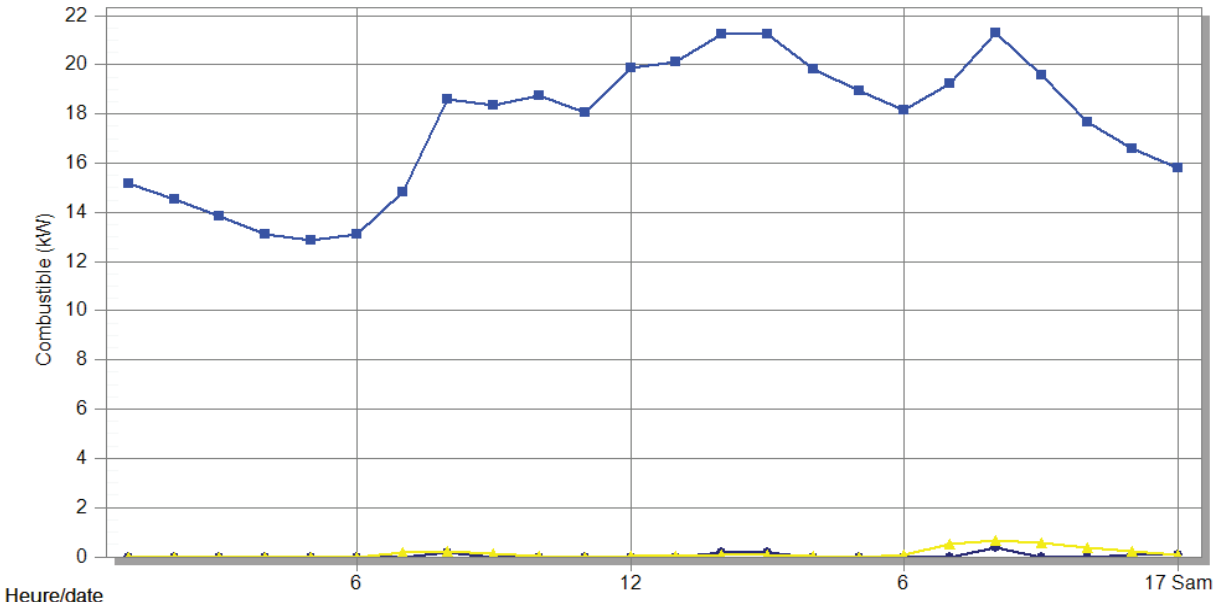
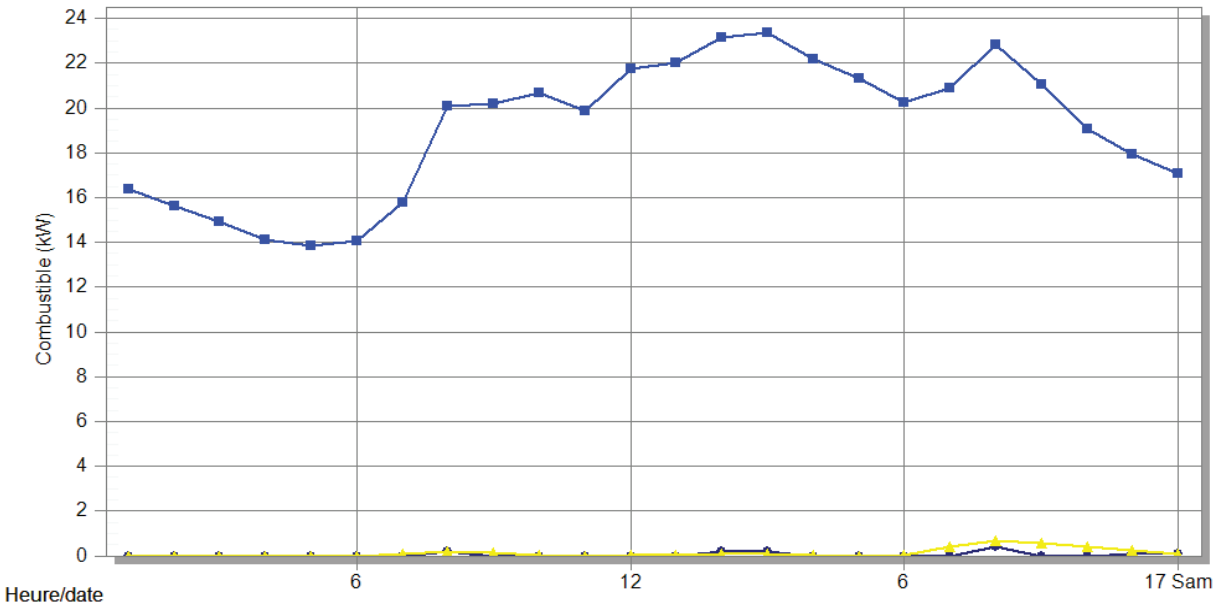



*Figure 4-42 Variation des consommations énergétiques de la maison en saison thermique S3 et S6.*

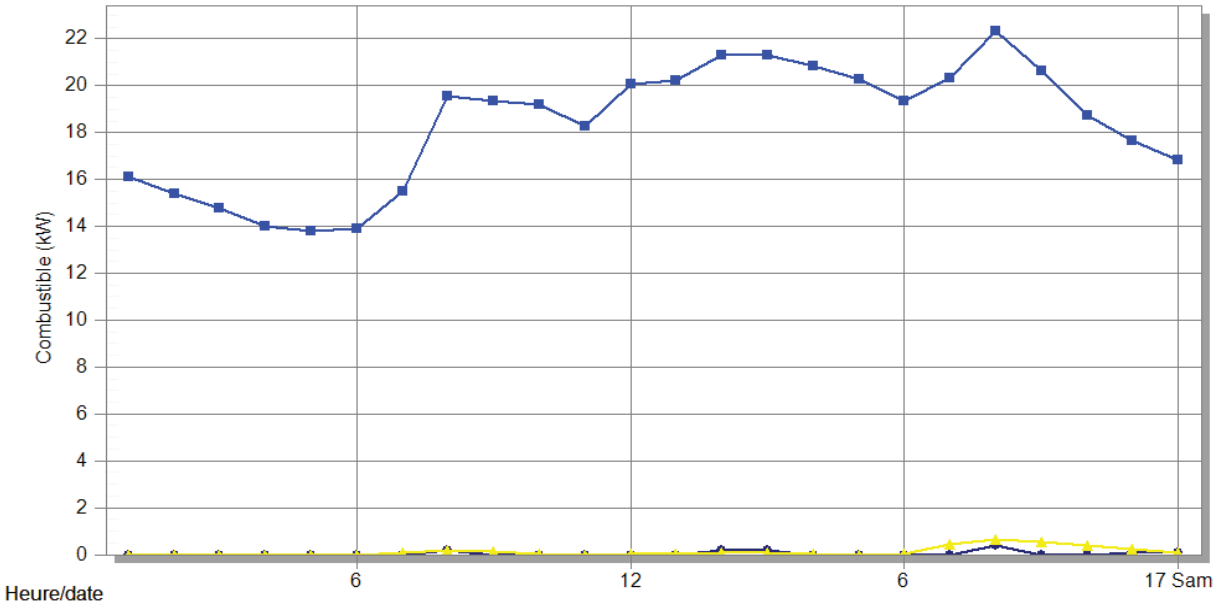
*Vitrage Obscure*

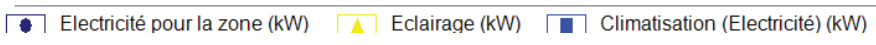



*Double Vitrage*




*Triple Vitrage*




**S6**

4 Actions

AXE 01

# ÉTANCHÉITÉ À L'AIR

**Économie : 64%**

La maîtrise de l'étanchéité à l'air s'est développé en France il y a dix à quinze ans environs et aujourd'hui la maîtrise solide de cette qualité n'est pas encore présente dans des nombreuses constructions. D'autres pays européens avaient été déjà initiés quelques années auparavant. En tout cas, elle est relativement récente et elle est la réponse à l'amélioration de l'habitat climatisés, chaud ou froid, et où nous maîtrisons parfaitement la température de l'air a tout moment. Les pays au climat chaud ne sont pas encore trop intéressés par cette qualité clef de la performance des bâtiments. Nous allons évaluer l'incidence d'une maison exposée au vent chaud, situation qui est relativement fréquente dans les pays arabes du Moyen Orient.

MODÈLE DE CALCUL E+

Calculé avec EnergyPlus/Design Builder, le modèle de base est soumis a un état de fuites non maîtrisées du bâtiment donnant une valeur de 16,5 v/h si il est évalué selon la norme européenne EN13829 qui impose une différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur de 50 Pa. Cette valeur correspond à un bâtiment très médiocre en étanchéité, jonctions des portes, fenêtres... Les variantes ce sont des modèles avec un état de fuites mineur : 5v/h, 2v/h et 0,6 v/h qui représentent des bâtiments de plus en plus performants, allant même au niveau d'une exigence d'une certification «Passivhaus» ou Minergie.

DISCUSSION

Les résultats sont très clairs (Figure 4-43) : le contrôle de la perméabilité à l'air du bâtiment est fondamental pour assurer la performance énergétique du bâtiment. Si c'est possible que 16,5 v/h soit une

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | DEPENSES ENERGETIQUES | | | | | | POURCENTAGE A LA MAISON DE BASE | | | | | | RECETTES FINANCIERES ECONOMIE ENERGIE | COUT DE L'ACTION ARCHITECTURALE | TEMPS DE REVIENT INVESTISSEMENT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | AN | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | AN % | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | €/an | € | années |
| | | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | | | |
| MODELE DE BASE | 0 | 237,9 | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,7 | 100,0% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | | 0,0 € | 0,0 |
| N50 5 v/h vs 16,5 v/h | 1 2 4 | 179 | 0,03 | 0,09 | 0,04 | 0,37 | 1,2 | 75,3% | 100% | 90% | 80% | 84% | 71% | 1 582,4 € | 470,6 € | 0,3 |
| N50 2 v/h vs 16,5 v/h | 1 2 4 | 161 | 0,03 | 0,09 | 0,04 | 0,34 | 1 | 67,7% | 100% | 90% | 80% | 77% | 59% | 2 066,3 € | 1 411,8 € | 0,7 |
| N50 0,6 v/h | 1 2 4 | 153 | 0,03 | 0,09 | 0,04 | 0,33 | 0,9 | 64,3% | 100% | 90% | 80% | 75% | 53% | 2 281,3 € | 3 174,3 € | 1,4 |

valeur très défavorable, il est toujours vrai que même entre performances de 5 v/h, valeur très fréquente dans les bâtiments méditerranéens récents ( AMBROSIO ALFANO, DELL'ISOLA, FICCO, TASSINI - 2012 ) . Il est vrai qu'en climat froid, les fissures grandissent lors des périodes les plus défavorables à cause de la contraction des matériaux face au froid. En climat chaud le phénomène est différent, et plus il fait chaud plus les fissures se réduisent, même si en fonction des formes et de la nature des fissures ceci n'est pas systématiquement le cas. En tout cas dans les pays au climat chaud l'usage des matériaux minéraux issus des filières humides, terre crue, chaux ou le ciment, les parements des bâtiments peuvent facilement obtenir des performances d'étanchéité importantes, et donc ce sera sur les jonctions murs-ouvertures, murs-équipement techniques que les vrais enjeux se trouvent.

FAISABILITÉ CONSTRUCTIVE

La mise en oeuvre d'une étanchéité à l'air performante demande un soin particulier des artisans et une planification rigoureuse des interfaces des différents corps de métier qui participent à la construction d'un bâtiment. Dans une culture influencée par une climat avec une humidité relative élevée, les bâtiments étanches à l'air doivent être très bien traités en ventilation et renouvellement de l'air sous peine de développer à terme des poches d'humidité permanentes, des odeurs et des bactéries. La peur d'un mauvais renouvellement de l'air interieur est très ancrée dans le subconscient populaire et provoque le refus des constructeurs (derniers responsables des ouvrages) et des utilisateurs des bâtiments trop étanches, comme si un bâtiment très étanche ne pouvait pas bien renouveler l'air intérieur ou ouvrir les fenêtres lorsque nécessaire. Lors de nos diverses rencontres dans la région, nous avons même eu des réflexions auprès des entreprises locales autour le danger de mourir asphyxiés si la maison était trop étanche!. Ce type d'amalgame est fait lorsque on n'explique pas qu'une maison étanche peut être autant ventilée par la ventilation transversale naturelle que souhaité. Une maison étanche doit être étanche lors que nous avons besoin, et ceci lorsque la climatisation est en cours et que nous refroidissons par l'air. C'est alors que cet air devient précieux et cher à ne pas mélanger avec un air

extérieur qui serait humide et chaud. Il se produit le phénomène déjà décrit dans le chapitre 1 : Contrairement au climat froid, le pare-vapeur assurant aussi les fonctions d'étanchéité à l'air, est toujours à l'intérieur de l'isolation du coté du volume chauffé et le pare-pluie, plus perméable à l'air et à la vapeur d'eau, est toujours à l'extérieur de l'isolation. Les fonctions de chacun sont bien déterminées, distinctes en fonction et en position. En climat chaud ces deux couches sont placées en principe du côté extérieur de l'isolation du volume chauffé, et nous trouvons, là où avant il n'y avait que le pare-pluie avec une fonction purement de étanchéité, une deuxième besoin a combler, celle de la barrière a la vapeur d'eau et a l'air. En climat chaud nous substituons toutes les couches de gestion des humidités et de l'eau, par une seule couche, imperméable à l'eau et à l'air, placée à l'extérieur de l'isolant. La difficulté est que nous devons assurer sa continuité tout autour l'enveloppe du bâtiment. Ceci n'est pas une tache facile pour les artisans locaux en climat chaud qui ont toujours la logique de la protection à l'eau, par superposition verticale de couches, car réussir la continuité de la matière nécessaire pour assurer une étanchéité à l'air nécessité de la formation spécifique des entreprises et des moyens encore peu présents dans la région.

Cependant plusieurs dispositifs constructifs se prêtent bien à cela et notamment la maçonnerie avec une isolation par l'intérieur. Dans ce cas, toute la surface de la maison est parfaitement étanche à l'eau et à l'air, les enjeux se trouveront aux jonctions autour les fenêtres et les portes et les sorties des équipements techniques des ventilation. Dans le cas contraire, une isolation par l'extérieur, comme par exemple une construction en maçonnerie avec isolation extérieure, une membrane et un bardage, il devient pratiquement impossible d'assurer seulement avec la membrane une étanchéité à l'air acceptable. Ceci est dû à toutes les fuites associées aux supports du bardage, retour des membranes vers les menuiseries, ... . En cas d'infiltration par cette membrane discontinue extérieure, les parois maçonnées intérieurs subiront des condensations par le contact de l'air extérieur humide et chaud avec les murs maçonnés froids. Pour éviter cette éventuelle source de pathologie, l'utilisation d'une membrane extérieure avec des propriétés «frein vapeur» plus performant qu'un simple «pare-pluie», ou une ventilation entre l'isolant et le mur intérieur pour évacuer les excès d'humidité pourront etre mises en oeuvre. Toutefois en climat chaud, il est plus facile d'assumer une condensation en partie extérieure de la structure maçonnée qu'en climat froid : la condensation n'a pas d'impact sur la santé et la qualité de l'air intérieur, elle a juste un impact sur l'efficacité de l'isolant s'il est mouillé.

D'autre part pour des performances acceptables d'étanchéité à l'air, les fenêtres doivent être battantes et pas coulissantes, à cause de leur faible performances à l'étanchéité à l'air, or les menuiseries coulissantes sont omniprésentes au Moyen Orient. Nous n'avons pas vu lors de nos visites un seul cas de menuiserie battante. Cependant les produits performants existent chez des fournisseurs spécialisés et notamment des filières européennes sur place, même si leurs produits sont plus orientés vers de grands ouvrages, les profiles battants sont disponibles sur place.



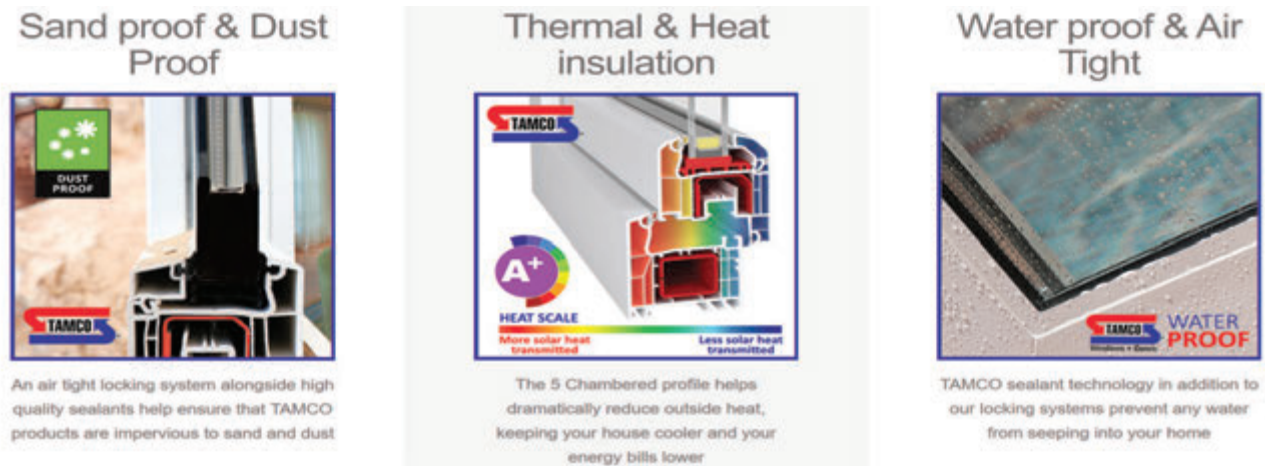
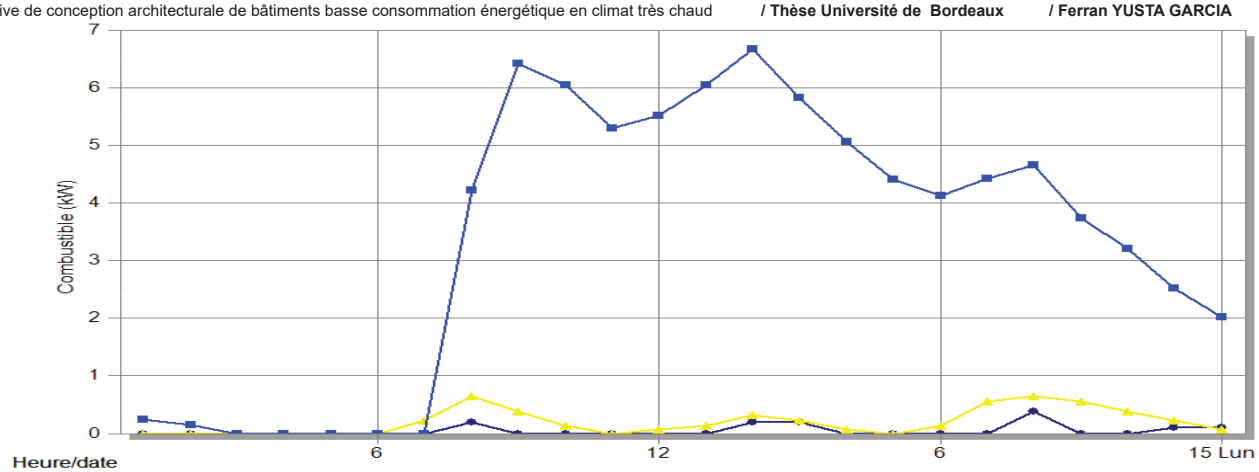
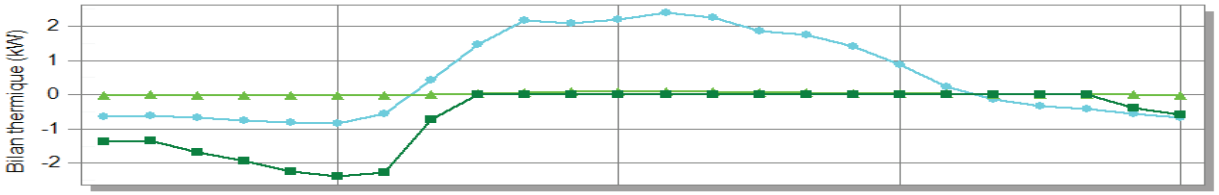
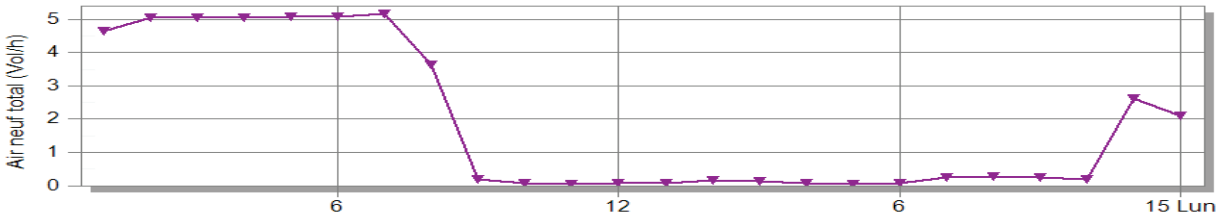



*Figure 4-44 Publicité de promotion des fenêtres battantes en faisant mention aux autres avantages de l'étanchéité à l'air : contre la poussière et l'eau. Crédit Tamco*

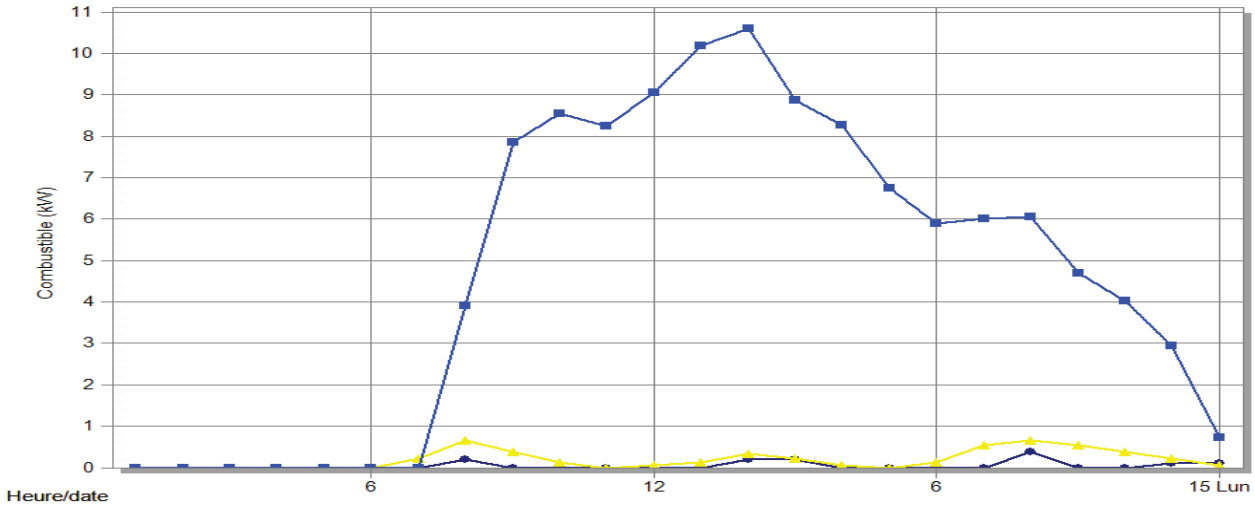
*N50 : 0,6 v/h*

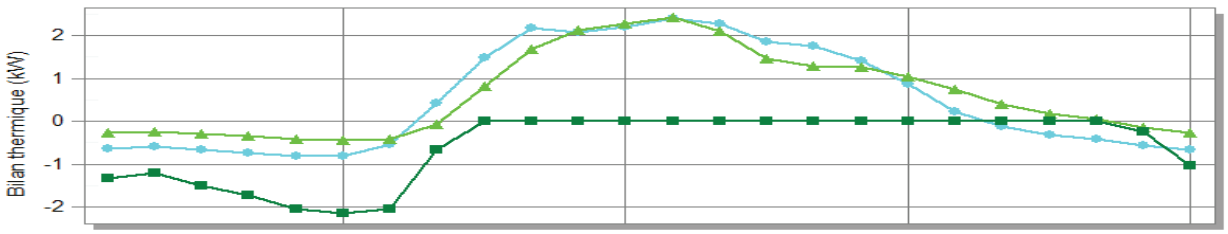


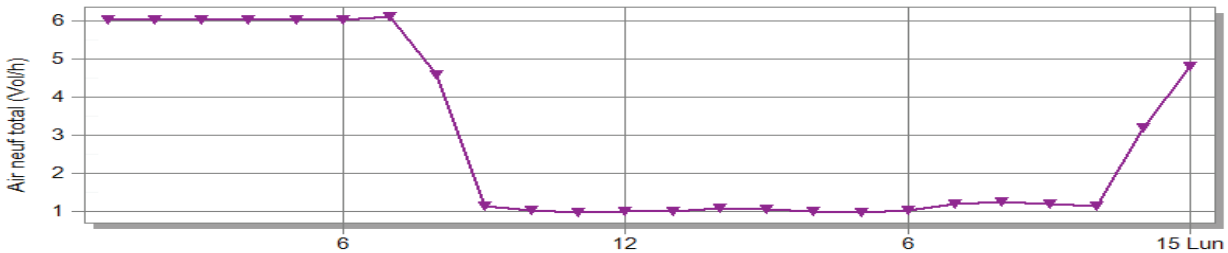




*N50 : 16,5 v/h*



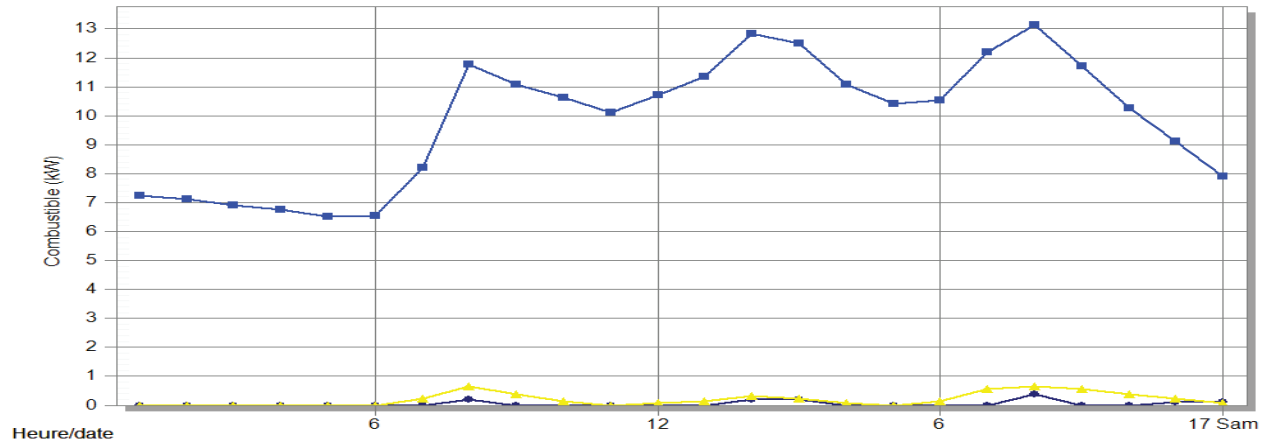



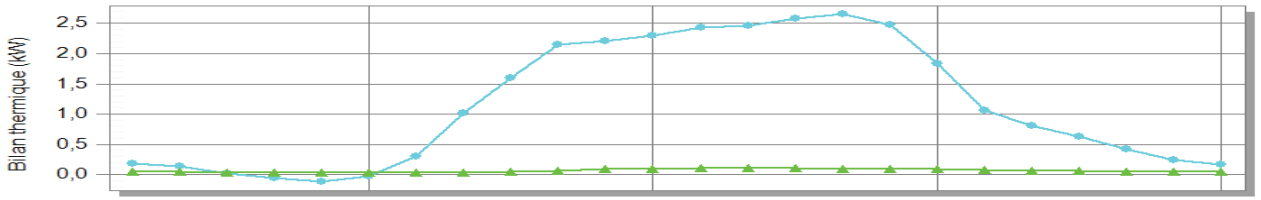



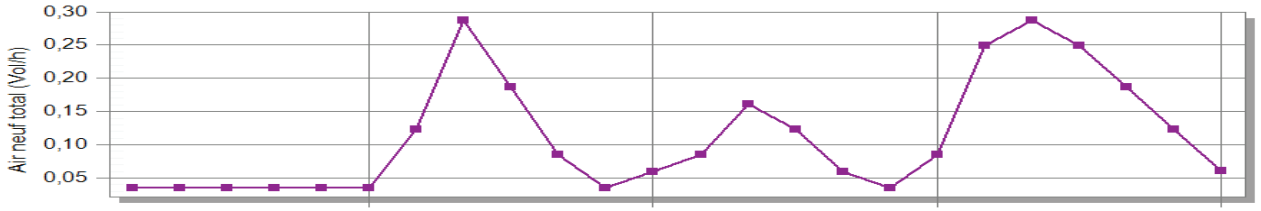

**S5**

*Figure 4-43 Réponses thermiques de la maison en fonction des fuites dans l'enveloppe en saison thermique S5 et S6.*

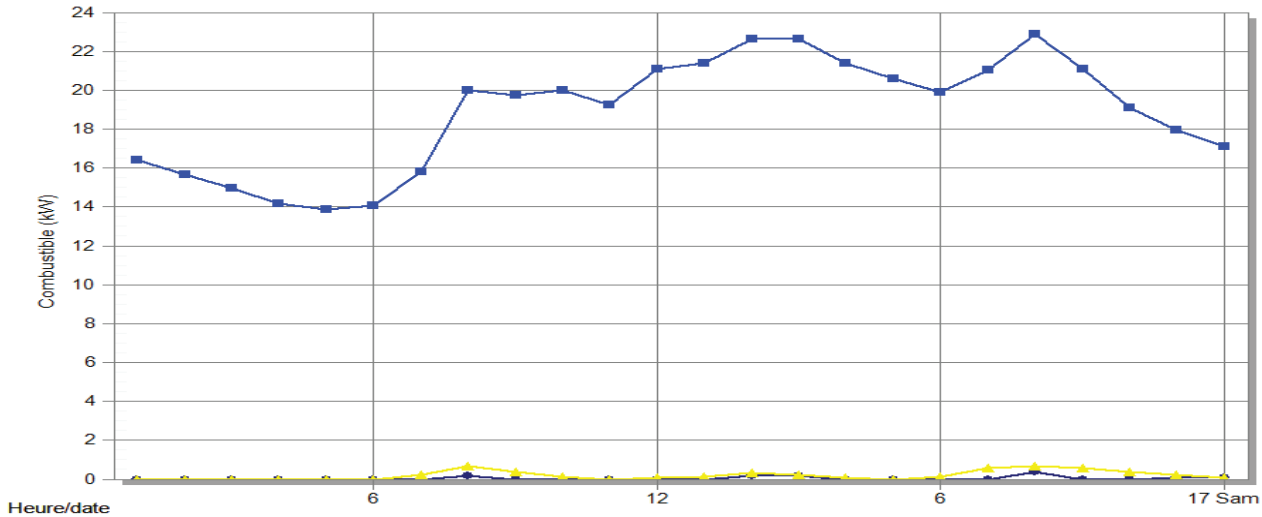
N50 : 0,6 v/h

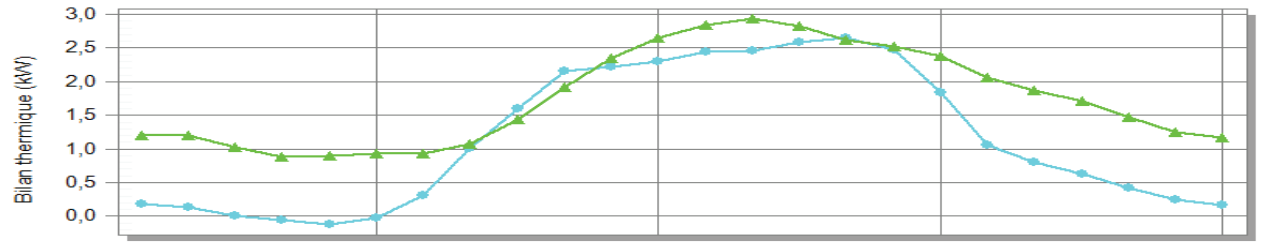


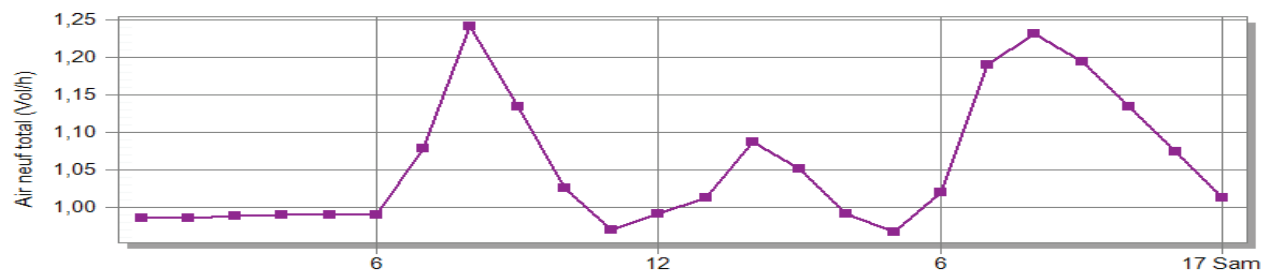




N50 : 16,5 v/h




Electricité pour la zone (kW) Eclairage (kW) Climatisation (Electricité) (kW)
Vitrage (kW) Infiltration extérieure (kW) Vent. externe (kW)
Vent Méca + Vent Nat Ext + Infiltration (Vol/h)

**S6**

**AXE 01**

# MATÉRIAUX FAÇADES EXTÉRIEURES

## Économie : 99%

La nature des matériaux de façade, par leur capacité à réfléchir la radiation solaire pourraient avoir une incidence sur la consommation de la maison. Deux processus se mêlent à ce phénomène, un est la réflexion de la radiation solaire et un autre est l'absorption des infrarouges qui entourent le bâtiment ainsi que la radiation de la chaleur emmagasinée à l'intérieur de la maison

MODÈLE DE CALCUL E+

Calculé avec EnergyPlus/Design Builder, ce phénomène est difficile à modéliser pour sortir des valeurs fiables de la performance des différents types de matériaux de façade. Deux matériaux ont été testés en variante de l'enduit du modèle de base : un bardage métallique de basse émissivité (0,3) et un bardage bois de haute émissivité (0,9)

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | DEPENSES ENERGETIQUES AN kWh/m2an | S2 1-janv. kWh/m2J | S3 30-nov. kWh/m2J | S4 19-févr. kWh/m2J | S5 14-avr. kWh/m2J | S6 16-août kWh/m2J | POURCENTAGE A LA MAISON DE BASE AN % kWh/m2an | S2 1-janv. kWh/m2J | S3 30-nov. kWh/m2J | S4 19-févr. kWh/m2J | S5 14-avr. kWh/m2J | S6 16-août kWh/m2J | RECETTES FINANCIERES ECONOMIE ENERGIE €/an | COUT DE L'ACTION ARCHITECTURALE € | TEMPS DE REVIENT INVESTISSEMENT années |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MODELE DE BASE | 0 | **237,9** | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,7 | **100,0%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | | 0,0 € | 0,0 |
| METAL EMISS: 0,3 | 1 2 5 | **236** | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,69 | **99,2%** | 100% | 100% | 100% | 100% | 99% | 50,3 € | 3 874,7 € | 77,1 |
| BOIS EMISS: 0,9 | 1 2 5 | **235** | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,69 | **98,8%** | 100% | 100% | 100% | 100% | 99% | 77,1 € | 4 845,8 € | 62,8 |

DISCUSSION

Les résultats sont difficiles à analyser car une variation de seulement 1% n'est pas suffisante pour tirer des conclusions. Nous noterons cependant une température extérieure du revêtement de basse émissivité en acier, plus basse que le revêtement bois à haute émissivité. Ces variations peuvent aller jusqu'au 5ºC à16h en août (Figure 4-44). Malgré cette différence, à l'intérieur la température reste presque identique. L'existence d'une isolation dans les murs a un rôle majeur dans la minimisation des effets radiatifs du revêtement extérieur.

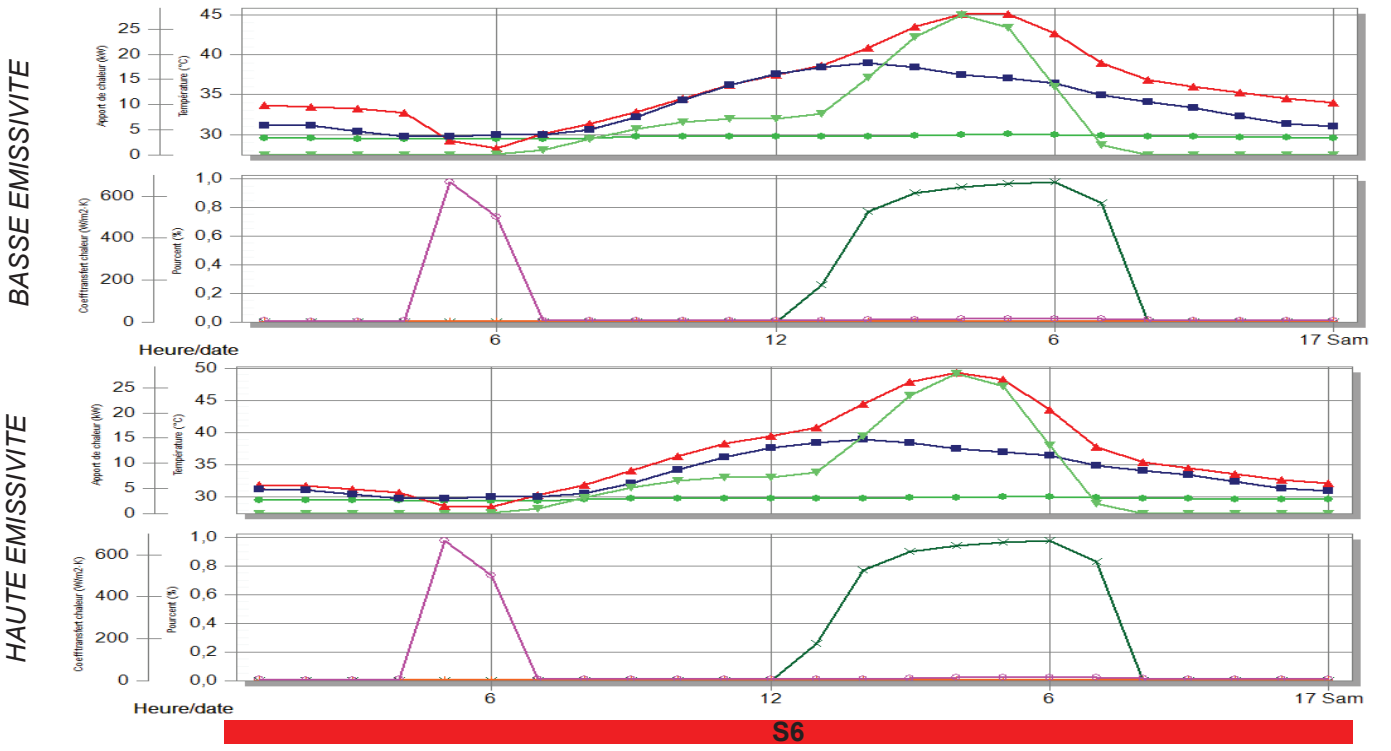



*Figure 4-45 Réponses thermiques de la maison en fonction de l'émissivité des façades extérieures dans une journée type S6*

# LAME D'AIR VENTILÉ EN FAÇADE

## Économie : 99%

Bloquer le rayonnement solaire des façades opaques peut se révéler intéressant pour éviter le réchauffement de la surface extérieur qui après par conduction viendra réchauffer l'intérieur du bâtiment. La façade rapportée avec une lame d'air ventilée a l'intérieur permet de produire cette action. Cependant l'air de la lame doit pouvoir être effectivement évacué sous peine de créer l'effet contraire de mur trombe.

MODÈLE DE CALCUL E+

Calculé avec EnergyPlus/Design Builder, Nous avons crées une typologie de mur avec de l'extérieur vers l'intérieur un revêtement extérieur en mortier reconstitué de 2cm, une lame d'air ventilé à l'intérieur «2010 NCM cavity ventilated» de 10 cm, une isolation XPS de 10 cm, bloc béton et mortier plâtre.

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | DEPENSES ENERGETIQUES | | | | | | POURCENTAGE A LA MAISON DE BASE | | | | | | RECETTES FINANCIERES ECONOMIE ENERGIE | COUT DE L'ACTION ARCHITECTURALE | TEMPS DE REVIENT INVESTISSEMENT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | AN | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | AN | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | | | |
| | | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | % kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | €/an | € | années |
| MODELE DE BASE | 0 | **237,9** | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,7 | **100,0%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | | 0,0 € | 0,0 |
| LAME VENTILÉE | 1 2 6 | **235,9** | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,69 | **99,2%** | 100% | 100% | 100% | 100% | 99% | 51,9 € | 33 007,7 € | 636,3 |

DISCUSSION

Comme dans le cas de l'action précédente, ces résultats sont difficiles a analyser avec une faible amélioration de 1% ce qui n'est pas suffisante pour tirer des conclusions. La figure 4-46 ci-dessous montre que avec la lame d'air ventilée, logiquement, la température de surface extérieure est plus élevée car elle n'est pas refroidie par le mur arrière, et à l'intérieur la température du mur est légèrement inférieure au modèle de base. Aussi comme dans le cas de l'action précédente, l'existence d'une isolation dans les murs a un rôle majeur dans la minimisation des effets radiatifs du revêtement extérieur.

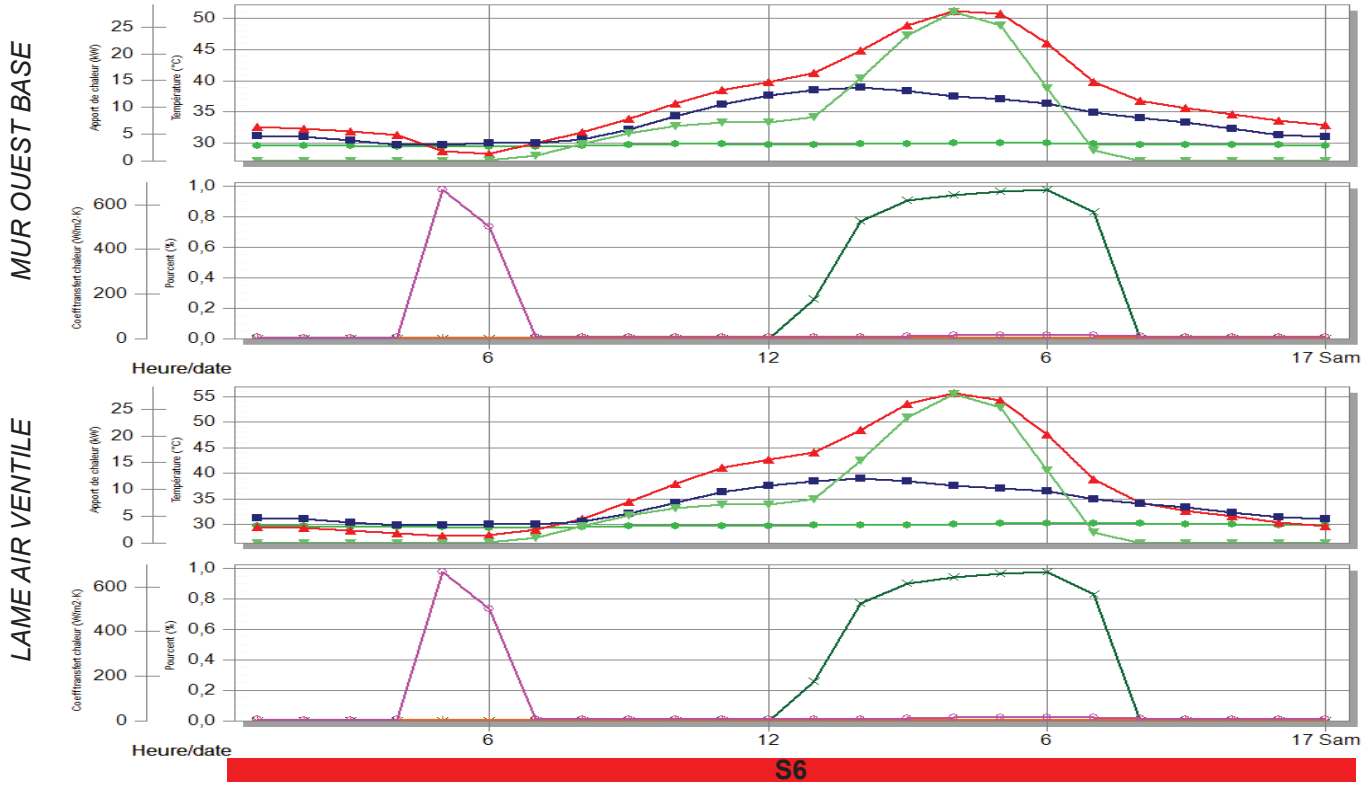



*Figure 4-46 Comparaison des réponses thermiques de la maison entre le modèle Base et une variante avec lame d'air ventilée.*

# COMPACITÉ

## Économie : 120%

La compacité est souvent mise en avant comme une qualité de la conception bioclimatique. La capacité d'héberger la même surface habitable avec moins de surface exposée à l'extérieur presente de facto des économies d'énergie proportionnelles à la réduction de surface exposée. Cependant une plus grande exposition permet aussi une meilleure charge/décharge thermique intéressante en fonction de la saison thermique et du profil climatique du site, ainsi qu'une ventilation transversale plus efficace.

MODÈLE DE CALCUL E+

Calculé avec EnergyPlus/Design Builder, le modèle de base R+1 a été décomposé en deux blocs de plain-pied, tous les deux séparés et en contact avec le sol.

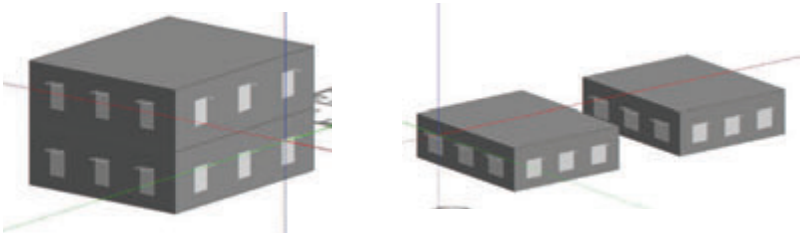


*Figure 4-47 Les deux modèles de calcul utilisés par Design Builder : maison Base (compacte) et maison plain-pied (peu compacte)*

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | DEPENSES ENERGETIQUES | | | | | | POURCENTAGE A LA MAISON DE BASE | | | | | | RECETTES FINANCIERES ECONOMIE ENERGIE | COUT DE L'ACTION ARCHITECTURALE | TEMPS DE REVIENT INVESTISSEMENT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | AN | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | AN | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | | | |
| | | kWh/m2an | kWh/m2j | kWh/m2j | kWh/m2j | kWh/m2j | kWh/m2j | % kWh/m2an | kWh/m2j | kWh/m2j | kWh/m2j | kWh/m2j | kWh/m2j | €/an | € | années |
| MODELE DE BASE | 0 | 237,9 | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,7 | 100,0% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | | 0,0 € | 0,0 |
| PLEIN PIED | 1 2 7 | 286 | 0,03 | 0,1 | 0,03 | 0,47 | 2,6 | 120,2% | 100% | 100% | 60% | 107% | 153% | -1 293,7 € | 12 959,6 € | bad |

DISCUSSION

Les résultats sont très parlants, et tandis que le comportement annuelle de la maison à Dubaï invite à ne pas utiliser une conception peu compacte, avec une consommation de 120%, et notamment sous le climat d'été représenté par le jour type S6 avec une consommation de 150%. Nous constatons que ceci n'est pas le cas pour toutes les situations climatiques, et que dans le cas de la journée type S4, les économies d'énergie sont importantes ; une consommation 60% du modèle de référence, car la maison profite de son décalage horaire avec l'extérieur pour compenser les besoins en température. Le reste des situations climatiques ne montrent pas d'incidence particulière sur les consommations. Les graphiques de la Figure 4-48 montrent comment dans les deux cas S4 et S6 le plancher haut du rez de chaussée (PhRdC) de la maison compacte (modèle de base) a une très faible différence entre ses deux faces, dans le graphique exprimé comme intérieur (sous-face ) et extérieur (surface ) car les deux sont dans le même volume chauffé. Cependant dans le modèle peu compact, pendant toute la journée S6 la température de la surface du PhRdC, la toiture, est plus élevée que le seuil de température de confort, 26ºC, à l'exception de deux heures entre 3h et 5h du matin, où elle est légèrement sous le seuil de 26ºC. Cela veut dire que la toiture supplémentaire que nous avons ajouté à la maison est déperditive en permanence. Au contraire, la journée S4 varie entre 13ºC au petit matin à 6h et 47ºC à 14h de l'après-midi. Cette variation de température associée à un système constructif favorisant le décalage de l'onde de chaleur ainsi que le stockage thermique, permet de faire face aux soirées froides avec la chaleur récoltée dans l'après-midi et faire face à la chaleur de l'après-midi avec la fraîcheur récoltée au petit matin. Le plancher bas du rez de chaussée, PbRdC, est l'autre paroi qui permet au S4 d'amortir les vagues de chaleur et de fraîcheur car la température du sol est dans le seuil du confort, et donc deux planchers exposés donnent un meilleur résultat que un seul. Par contre, pendant les jours chauds d'été, S6, la température du sol étant au-dessus le seuil de confort, la démultiplication des planchers exposés ne fait qu'accroître la consommation.

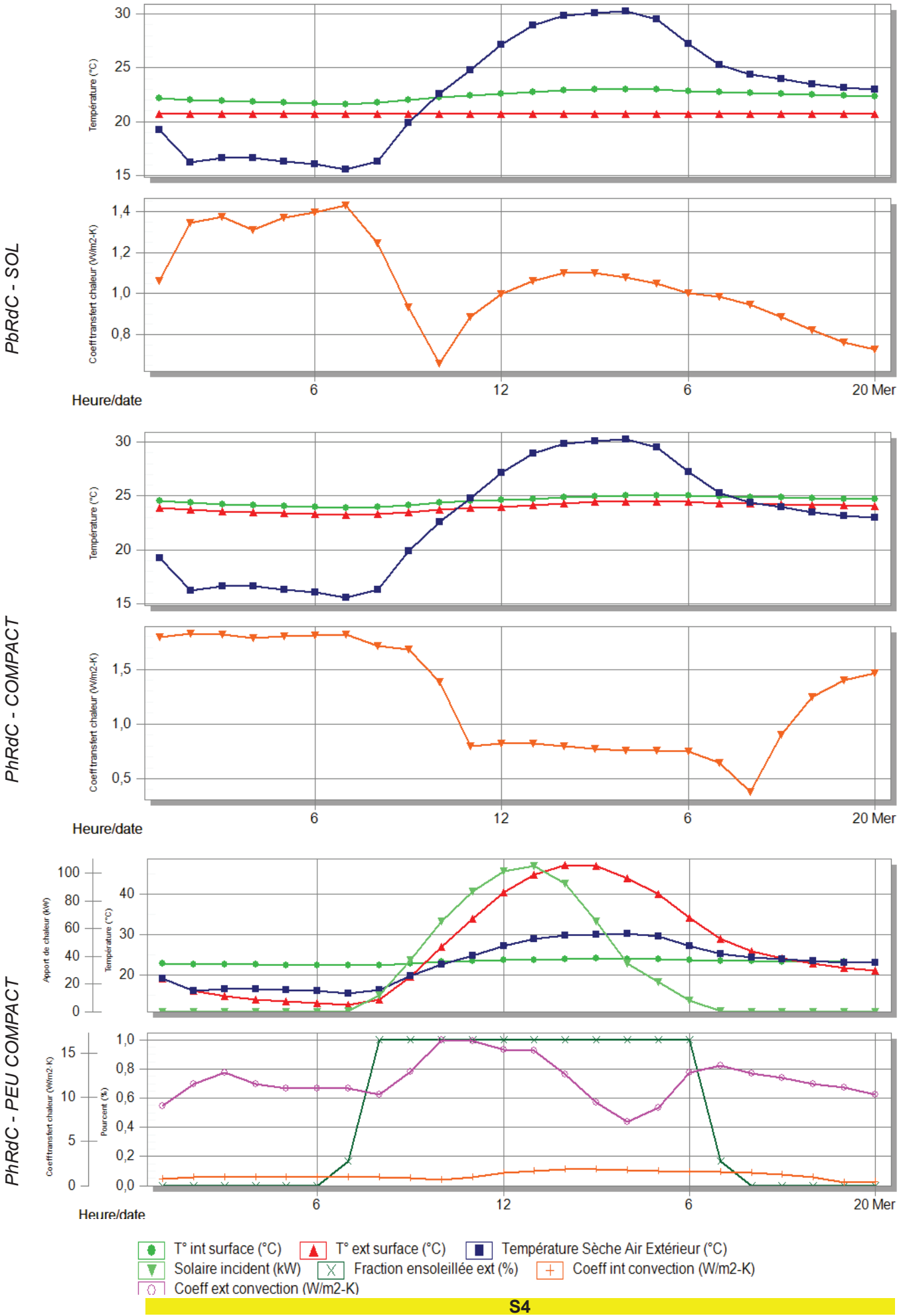
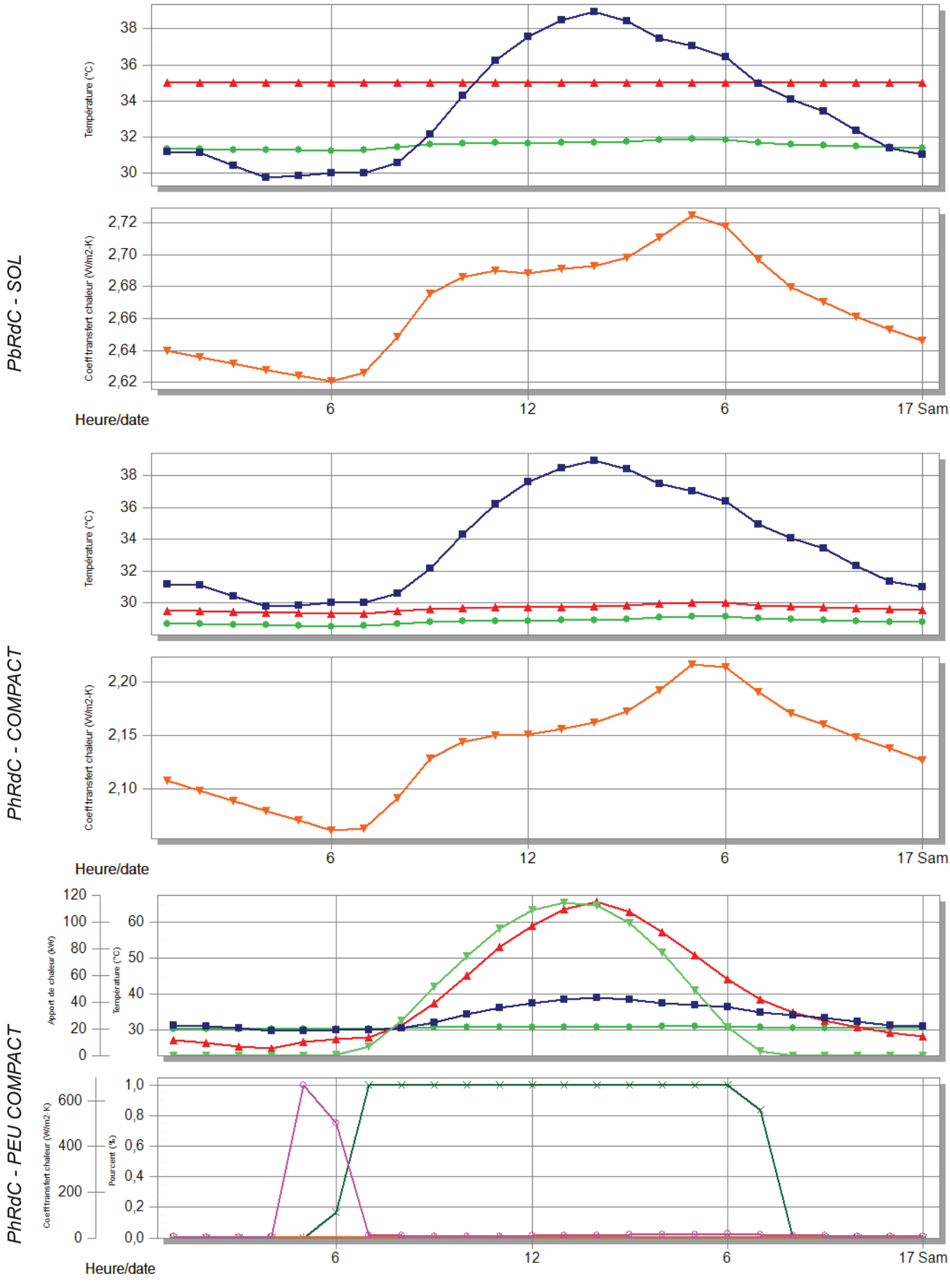


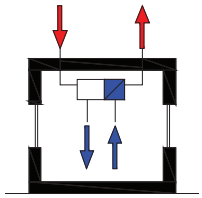

*Figure 4-48 Réponses thermiques des deux modèles, compact (Base) et peu compact (Variante) en saison thermique S4 et S6.*


PbRdC - SOL
Température (°C)
38
36
34
32
30
Coeff transfert chaleur (W/m2-K)
2,72
2,70
2,68
2,66
2,64
2,62
6
12
6
17 Sam
Heure/date
PhRdC - COMPACT
Température (°C)
38
36
34
32
30
Coeff transfert chaleur (W/m2-K)
2,20
2,15
2,10
6
12
6
17 Sam
Heure/date
PhRdC - PEU COMPACT
Apport de chaleur (kW)
120
100
80
60
40
20
0
Température (°C)
60
50
40
30
Coeff transfert chaleur (W/m2-K)
600
400
200
0
Pourcent (%)
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
6
12
6
17 Sam
Heure/date
T° int surface (°C)
T° ext surface (°C)
Température Sèche Air Extérieur (°C)
Solaire incident (kW)
Fraction ensoleillée ext (%)
Coeff int convection (W/m2-K)
Coeff ext convection (W/m2-K)
S6

**AXE 01**

# VENTILATION DOUBLE FLUX ÉCHANGE THERMIQUE

## Économie : 97%



La ventilation avec échange thermique de double flux, très prisée en climat froid, avec des écarts de température importants et permanents entre l'intérieur et l'extérieur, est peu connue en climat chaud. Nous pouvons penser que dès que les températures extérieures sont très chaudes, un refroidissement de l'air entrant par l'air sortant, ne peut pas être que bénéfique au bilan énergétique de la maison. Néanmoins, come nous avons vu précédemment, les écarts de température intérieur/extérieur dans les climat chauds sont moins importants que en climat froid, ce qui pourrait ne pas justifier sa mise en oeuvre en climat chaud. Nous allons analyser par la suite quelle est la influence aux économies énergétiques de notre modèle thermique si nous avons recours à une ventilation en double flux avec échangeur thermique.

### MODÈLE DE CALCUL E+

Calculé avec EnergyPlus/Design Builder. Nous avons inclus dans le modèle de base l'option de récupérateur de chaleur dans l'unité de ventilation.

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | | | DEPENSES ENERGETIQUES | | | | | | POURCENTAGE A LA MAISON DE BASE | | | | | | RECETTES FINANCIERES ECONOMIE ENERGIE | COUT DE L'ACTION ARCHITECTURALE | TEMPS DE REVIENT INVESTISSEMENT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | AN | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | AN % | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | €/an | € | années |
| | | | | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | | | |
| MODELE DE BASE | 0 | | | **237,9** | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,7 | **100,0%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | | 0,0 € | 0,0 |
| VMC 2F Etherm | 1 | 3 | 1 | **232** | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,66 | **97,5%** | 100% | 100% | 100% | 100% | 98% | 157,8 € | 19 340,2 € | 122,6 |
| VMC 2F ET+ N50 2v/h | 1 | 3 | 1 | **154** | 0,03 | 0,09 | 0,04 | 0,37 | 0,91 | **64,7%** | 100% | 90% | 80% | 84% | 54% | 2 254,4 € | 41 504,0 € | 18,4 |

### DISCUSSION

Les résultas montrent que la ventilation double flux avec échangeur thermique n'est pas une solution très intéressante en climat très chaud. En effet à la vue des écarts de température entre l'extérieur et l'intérieur, pendant les saisons S4 et S5 la solution ne semblent pas être très efficace. Seulement la saison la plus chaude de l'été, S6, semble permettre quelques économies d'énergie mais ceci reste marginal. Les graphiques da la Figure 4-49 montrent les besoins en puissance de refroidissement des différents modèles en fonction de la température extérieure. Lorsque la double flux avec un récupérateur de chaleur est activée, nous voyons aussi les faibles économies que cela représente : à 8h du matin de la journée type S6, pour un besoin total de 9,99 W la récupération de chaleur permet de récupérer 1,53 kW de l'air sortant, soit 15% des besoins. Dans la journée S6 la puissance maximale de refroidissement obtenue par récupération thermique est de 1,83 kW à 20h. Si nous tenons en compte la consommation d'énergie propre à la centrale de double flux pour assurer le renouvellement de l'air et les échanges thermiques, le bilan devient rapidement défavorable au système de renouvellement d'air par double flux avec échangeur thermique. Cependant ce résultat mériterait d'être comparé avec des données expérimentales.

### FAISABILITÉ CONSTRUCTIVE

Les produits existent sur le marché de la ventilation, mais son installation actuelle reste très marginale, pratiquement que dans des projets phare et/ou démonstratifs. Dans notre projet Solar Decathlon SDME 2018 à Dubaï, où notre équipe participe activement dans la conception et la réalisation, une ventilation à double flux avec récupération de chaleur est prévue. Dans d'autres projets phares comme le «Desert Institut-Sheikh Zayed» à Al-Aïn, UAE, ou les maisons Eco-house à Oman, ces systèmes sont systématiquement utilisés.

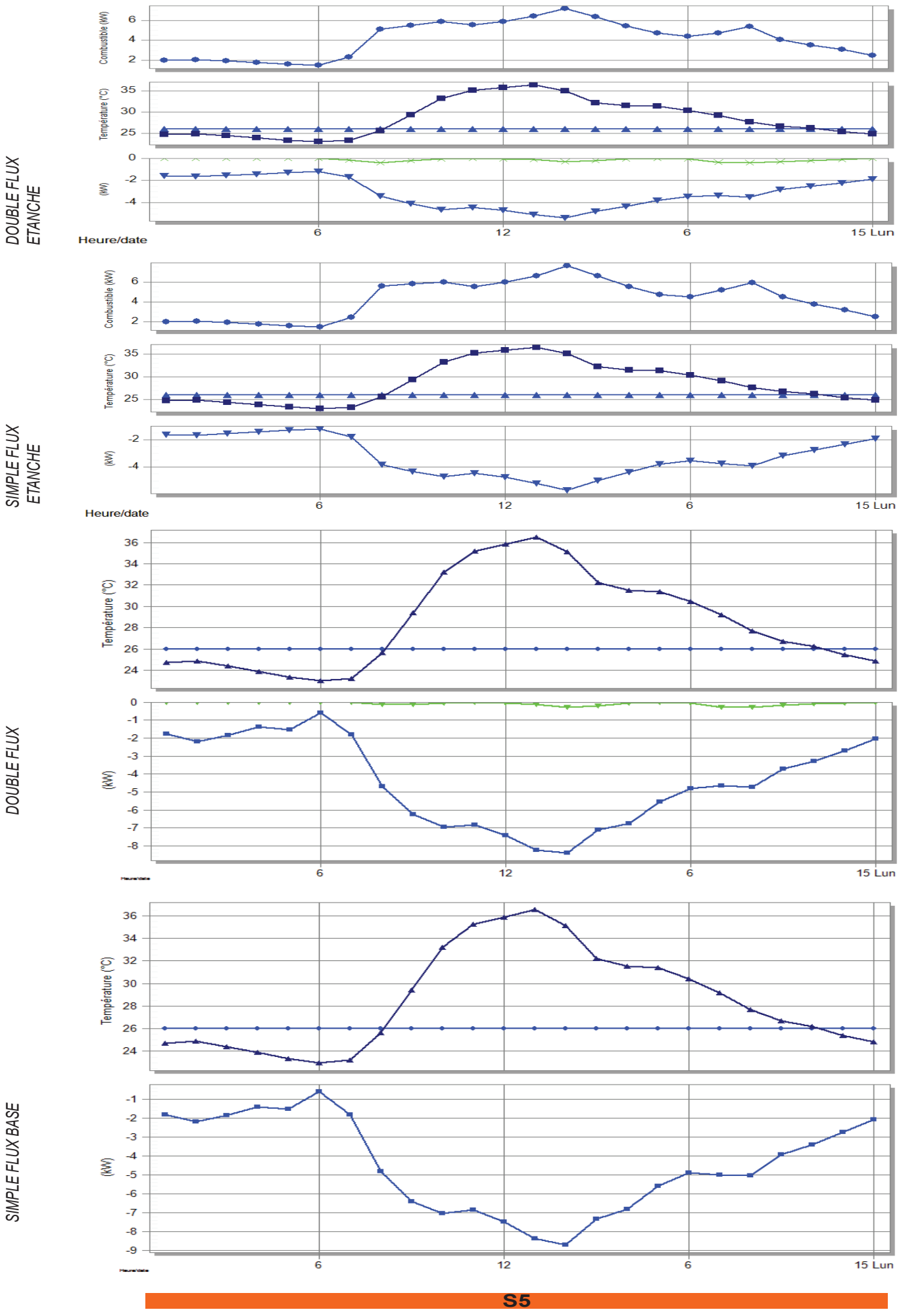
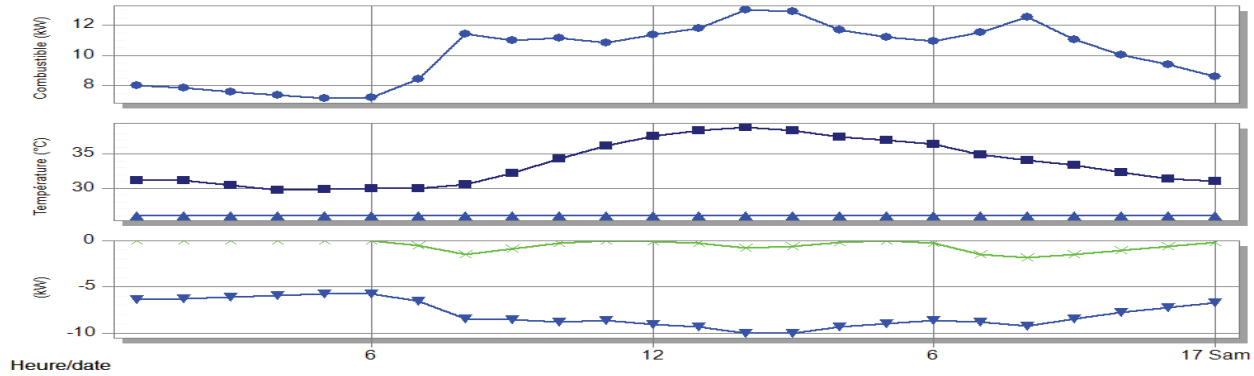
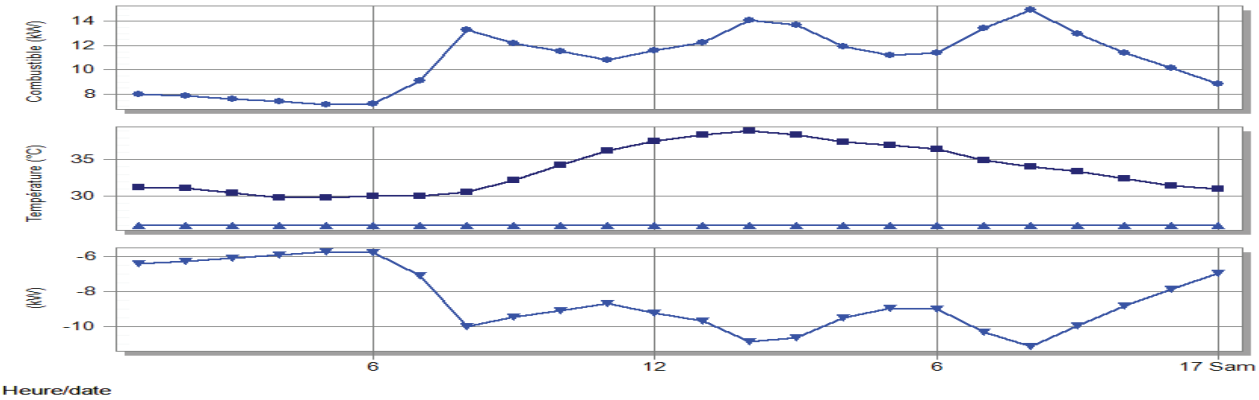



*Figure 4-49 Réponses thermiques des différentes combinaisons SF/DF/Etanche/Pas etanche en saison thermique S5 et S6.*

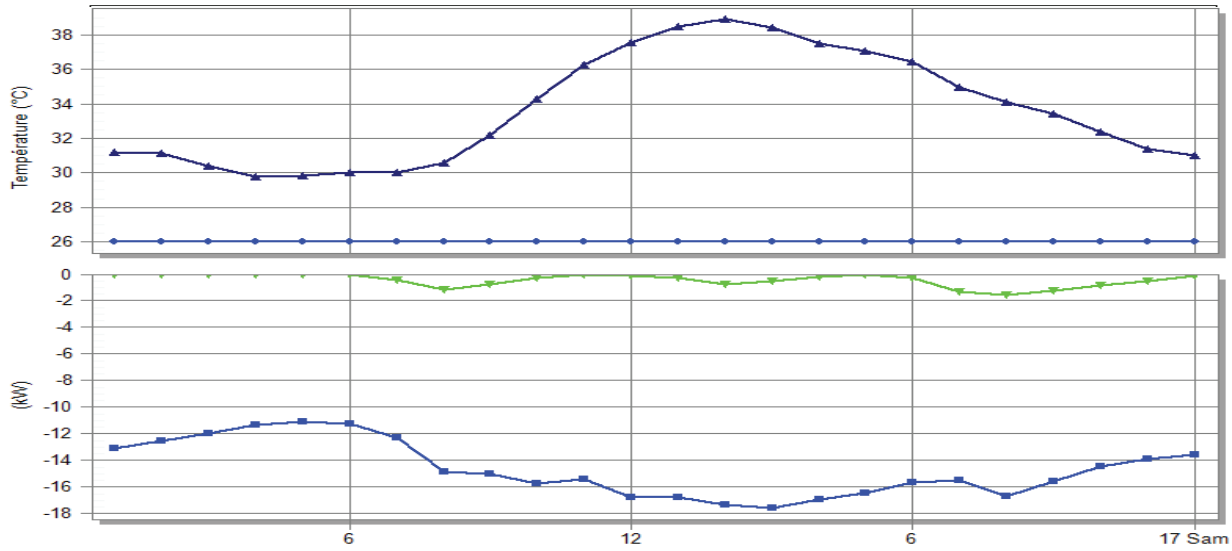
*DOUBLE FLUX ETANCHE*



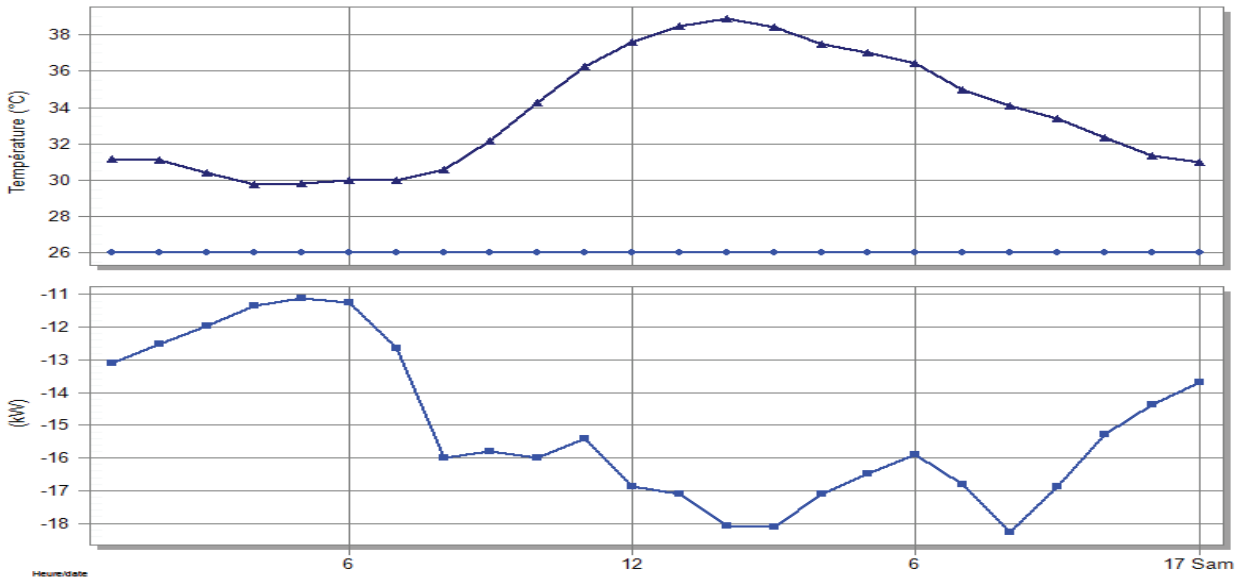

*SIMPLE FLUX ETANCHE*




*DOUBLE FLUX*



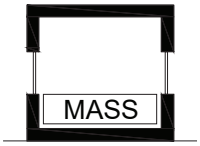

*SIMPLE FLUX BASE*




**S6**

# AUGMENTATION DE LA MASSE THERMIQUE DU BATIMENT

**Économie : 99%**




La question est récurrente, quelle est l'influence de la masse thermique d'un bâtiment en climat chaud. Cette question est d'autant plus intéressante que la plus grande part des bâtiments dans ce climat sont considérés comme étant des constructions massiques à forte inertie thermique, même si récemment a cause de l'isolation par l'intérieur, une partie de cette masse à effets thermiques disparaît. Nous allons essayer de comprendre quel effet a l'augmentation ou la réduction de la masse thermique par type de journée.

MODÈLE DE CALCUL E+

Calculé avec EnergyPlus/Design Builder. Pour simuler une perte nette de masse thermique nous avons tout simplement passé la couche d'isolation derrière la briquette intérieur de l'enveloppe, ce qui fait un cas classique d'isolation par l'intérieur, nous avons aussi isolé les planchers en dessous et en dessus et dans la toiture nous avons mis la couche d'isolant aussi par l'intérieur pour couper tout contact de la masse thermique avec l'intérieur du logement. Pour augmenter la masse thermique encore plus dans un cas théorique nous avons augmenté le facteur de masse thermique de 50 et la surface de contact thermique de 200 m2 par étage. Le but est de voir comment réagit le bâtiment lorsque nous allons vers les extrêmes

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | | | DEPENSES ENERGETIQUES | | | | | | POURCENTAGE A LA MAISON DE BASE | | | | | | RECETTES FINANCIERES ECONOMIE ENERGIE | COUT DE L'ACTION ARCHITECTURALE | TEMPS DE REVIENT INVESTISSEMENT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | AN | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | AN % | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | €/an | € | années |
| | | | | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | | | |
| MODELE DE BASE | 0 | | | **237,9** | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,7 | **100,0%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | | 0,0 € | 0,0 |
| DIMINU. T. M.THERM | 3 | 3 | 1 | **239** | 0,05 | 0,15 | 0,08 | 0,47 | 1,68 | **100,5%** | 166,7% | 150,0% | 160,0% | 106,8% | 98,8% | -30,4 € | -10 398,2 € | -342,3 |
| AUGMENT. M.THERM | 3 | 3 | 1 | **237** | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,69 | **99,6%** | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 99,4% | 23,4 € | 5 139,4 € | 219,8 |
| M. THERM. AMPLIFIEx50 | 3 | 3 | 1 | **241** | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,43 | 1,76 | **101,3%** | 100,0% | 30,0% | 60,0% | 97,7% | 103,5% | -84,1 € | 10 966,0 € | bad |

DISCUSSION

Pour un climat comme celui de Dubaï, qui combine toutes les journées types d'un climat chaud, l'incidence de la masse thermique semble avoir très peu d'influence sur la consommation des modèles. Par contre si nous regardons par journée type, les résultats sont plus contrastés : les journées type S2, S3 et S4 qui ont des moments avec des températures basses ou tempérés qui pourraient permettre une décharge significative de la maison, montrent des économies d'énergie conséquentes associées à une masse thermique et à une surface d'échange importante. Ainsi plus la masse thermique (avec une surface qui permet les échanges) est importante, plus sont importantes les économies d'énergie. Pour les journées type S5 et S6, l'influence de la masse thermique est négligeable, ce qui est logique car la maison est en grande partie de son temps sous des conditions de climatisation isolée de l'environnement extérieur, et donc la masse thermique n'a plus la fonction de recharge/décharge.

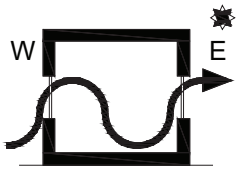
FAISABILITÉ CONSTRUCTIVE

La culture constructive au Moyen Orient fait que l'inertie thermique est une caractéristique intrinsèque au toute construction locale. Il faut juste en tenir en compte de certains principes constructifs pour pouvoir facilement la mettre au profit des economies d'énergie du bâtiment.

**AXE 03**

# VENTILATION NATURELLE CONTRÔLÉE

## Économie : 62%




L'habitat vernaculaire en climat chaud profite de la ventilation naturelle dans les heures fraîches de la nuit ou du petit matin pour refroidir la maison avant que les heures chaudes n'arrivent. Si aujourd'hui dans les constructions contemporaines, la ventilation naturelle peut se contrôler avec des senseurs, nous pouvons créer de la sur-ventilation nocturne, ou de la sur-ventilation toute la journée en fonction des températures et humidités extérieures. Dans la réalité cette mesure est peu utilisée dans la région du Moyen Orient. Pourtant en fonction des microclimats régionaux ces démarches pourraient s'avérer très efficaces.

MODÈLE DE CALCUL E+

Calculé avec EnergyPlus/Design Builder. Les études d'infiltration, le champ de vitesses du vent à l'intérieur de la maison, les échanges thermiques en fonction des vitesses et du débit, sont très complexes et nous pouvons très vite perdre le recul nécessaire dans cette étude. Notre stratégie se veut simple en sacrifiant peut être de la précision sur les résultats : quatre modèles ont été simulés, le modèle de base avec infiltrations et une ventilation contrôlée en fonction de la température et de l'humidité extérieure, base sans ventilation naturelle, base améliorée sans infiltration et sans ventilation naturelle, base améliorée sans infiltrations avec ventilation naturelle contrôlée.

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | | | DEPENSES ENERGETIQUES | | | | | | POURCENTAGE A LA MAISON DE BASE | | | | | | RECETTES FINANCIERES ECONOMIE ENERGIE | COUT DE L'ACTION ARCHITECTURALE | TEMPS DE REVIENT INVESTISSEMENT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | AN | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | AN % | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | €/an | € | années |
| | | | | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | | | |
| MODELE DE BASE | 0 | | | **237,9** | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,7 | **100,0%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | | 0,0 € | 0,0 |
| VENTIL+INFILTR. | 3 | 1 | 1 | 237,9 | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,7 | **100,0%** | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 0,0 € | 1,0 € | NA |
| NON V+I | 3 | 1 | 1 | 244 | 0,03 | 0,14 | 0,05 | 0,52 | 1,7 | **102,6%** | 100,0% | 140,0% | 100,0% | 118,2% | 100,0% | -164,8 € | -5 000,0 € | -30,3 |
| V+NON I | 3 | 1 | 1 | 149 | 0,03 | 0,09 | 0,04 | 0,32 | 0,87 | **62,6%** | 100,0% | 90,0% | 80,0% | 72,7% | 51,2% | 2 388,8 € | 3 174,3 € | 1,3 |
| NON V.+NON I. | 3 | 1 | 1 | 154 | 0,03 | 0,15 | 0,05 | 0,36 | 0,87 | **64,7%** | 100,0% | 150,0% | 100,0% | 81,8% | 51,2% | 2 254,4 € | -1 825,7 € | good |
| Free cooling | 3 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| FREE COOLING 15m3/h | 3 | 1 | 2 | **239,5** | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,47 | 1,7 | **100,7%** | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 106,8% | 100,0% | -42,5 € | 9 140,2 € | bad |

DISCUSSION

Les résultats montrent dans la journée type la plus consommatrice, la S6, que l'existence d'une ventilation naturelle contrôlée n'as pas d'incidence sur les consommations, tout simplement parce que elle ne se met en marche à aucun moment. Dans la journée S5 il y a un potentiel d'économie de 18% de la consommation en cas d'existence d'une ventilation contrôlée. Dans les journées extrêmes du S4 ventilation ou pas, il n'y a pas d'incidence dans la consommation, cela peut être justifié par les échanges conductifs et radiatifs qui suffisent a stocker la chaleur/fraîcheur le jour/nuit, cependant nous considérons tout de même que la journée S4 est idéale pour la ventilation transversale pour d'autres raisons. Dans le S3, qui serait une journée type vouée à la ventilation, les résultats montrent effectivement des potentiels d'économie de 40%.

FAISABILITÉ CONSTRUCTIVE

La ventilation naturelle contrôlée peut se faire aujourd'hui selon des principes très technologiques, comme des pistons motorisés qui permettent d'ouvrir ou fermer à volonté selon un programme numérique, ou nous pouvons aussi avoir une distribution qui permet de favoriser une ventilation naturelle efficace par contrôle manuel.

RÉFÉRENCES CONTEMPORAINES

Un bon exemple d'actions architecturales autour de la ventilation naturelle contrôlée est la maison GUTECH (Photos 4-5 et 4-6), l'une participante de la compétition du «Eco House Oman» qui montre comment avec une conception simple d'espaces ouverts intérieurs et de groupes de fenêtres situées de façon stratégique pour permettre un balayage efficace, la maison peut très rapidement produire un mouvement d'air transversal qui évacue la chaleur lorsque la température extérieure est inférieure à l'intérieur et au seuil de confort. Les ouvertures sont contrôlés mécaniquement par une centrale connectée. Nous avons pu constater que lors de notre visite le mécanisme était en panne et les fenêtres devaient s'ouvrir à la main, mais seulement pour celles dont l'accès était possible, les autres restaient fermées en permanence.

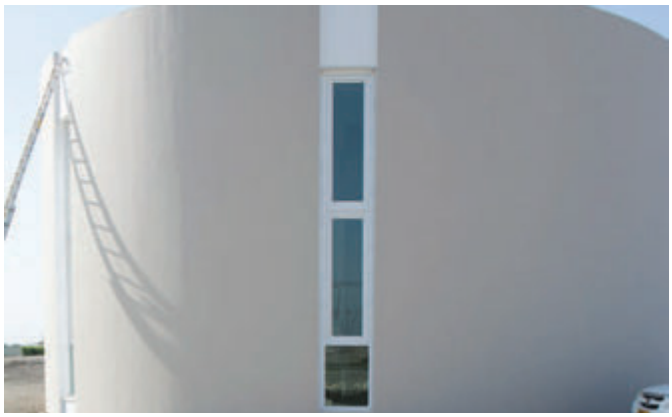


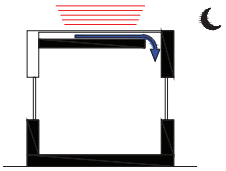
*Photo 4-5 Principe des ouvertures facilitant la ventilation transversale à Ecohouse GUTech Crédit Photo : FYusta*

*Photo 4-6 Distribution des groupes des fenêtres en partie basse et partie haute de l'espace intérieur pour faciliter la ventilation transversale par gradient thermique pendant les situations sans vent à Ecothouse GUTech, Muscat, Oman. Crédit Photo : FYusta*

**AXE 03**

# TOITURE RADIANTE NOCTURNE

## Économie : 92%



La nuit la voûte céleste a une température radiative très basse par rapport aux températures de l'air. Cette différence de température radiative peut être exploitée pour refroidir la maison en créant un mécanisme de décharge thermique vers le ciel. Ces études ont été développées par Givonni-1991 et plus récemment un refroidissement radiatif est en construction et évaluation pour son intégration au prototype Baitykool pour le Solar Decathlon Middle East 2018. Nous allons utiliser les résultats obtenus lors du programme de recherche mené par le laboratoire GRECCAU, I2M et Nobatek-INEF4.

MODÈLE DE CALCUL E+

Suite aux essais sur les prototypes de panneaux radiatifs en utilisant l'eau ou l'air comme élément de transport et stockage. Les valeurs par surface de panneau radiant que nous allons utiliser sont de 50 W/m2, pour les panneaux qui utilisent l'eau comme élément caloriporteur et de 20 W/m2, pour les panneaux qui utilisent l'air. Ces valeurs sont valables 1 heure après le coucher du soleil et 1 heure avant le levé du soleil. Pour le représenter nous allons utiliser un planning précis dans DB/E+ selon les horaires (moins 1 heure avant que le soleil soit à l'horizon). La puissance due au refroidissement sera celle fournie par 40 m2 de panneaux radiatifs, ce qui nous parait raisonnable pour pouvoir laisser une surface libre pour que la toiture puisse servir pour autres usages. La puissance surfacique de 50 W/m2 x 40 m2 = 2000 W représente pour 224 m2 de plancher un refroidissement de 8,93 W/m2 pour la période nocturne, qui sera stocké dans un réservoir énergétique et réutilisé le jour pour refroidir les plafonds ou les murs. Nous avons aussi simulé un système d'air qui viendra récupérer le froid des panneaux et le rentrerait dans la maison.

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | | DEPENSES ENERGETIQUES | | | | | | POURCENTAGE A LA MAISON DE BASE | | | | | | RECETTES FINANCIERES ECONOMIE ENERGIE | COUT DE L'ACTION ARCHITECTURALE | TEMPS DE REVIENT INVESTISSEMENT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | AN | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | AN % | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | | | |
| | | | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | €/an | € | années |
| MODELE DE BASE | 0 | | **237,9** | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,7 | **100,0%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | | 0,0 € | 0,0 |
| RADIANT COOLING | 3 | 2 1 | 219,4 | 0,04 | 0,09 | 0,04 | 0,39 | 1,6 | **92,2%** | 133,3% | 90,0% | 80,0% | 88,6% | 94,1% | 497,0 € | 4 500,0 € | 9,1 |
| EXTRACT.S/TOIT RAD | 4 | 2 1 | **230,1** | 0,03 | 0,09 | 0,04 | 0,42 | 1,66 | **96,7%** | 100,0% | 90,0% | 80,0% | 95,5% | 97,6% | 208,1 € | 500,0 € | 2,4 |

DISCUSSION

La radiation nocturne est un moyen de décharge intéressant. Il peut réduire de 8% la consommation d'énergie. Le puits de chaleur qui représente la voûte céleste serait le moyen idéale de rafraîchir et garder une réserve de froid pour le reste de la journée. Ceci est envisageable si seulement nous arrivons a créer un système qui puisse stocker un masse importante refroidie: un réservoir d'eau par exemple, ainsi qu'un système qui puisse permettre à une masse caloriporteurs de se refroidir exposée a la voûte céleste et de revenir pour se recharger dans le réservoir, et décharger le réservoir au passage. Un tel système a un coût non négligeable : pompes, réservoir, conduits... , ce qui génère un temps de retour de 9 ans, mais qui est tout de même intéressant comme investissement. Dans la recherche d'investissements initiaux moindres, un système de refroidissement de l'air sous les panneaux radiatifs pour le récupérer à l'intérieur de la maison, est plus simple et permet d'apporter une économie d'énergie de 3,2% à la maison et avec un coût très bas compte tenu de sa simplicité. Le temps de retour est de 2,4 ans, une période de retour d'investissement considérée comme très courte dans les pratiques habituelles.

FAISABILITÉ CONSTRUCTIVE

Le système radiatif «eau» doit prévoir un réservoir d'eau ou un puits thermique sous forme masse constructive, comme les planchers en béton. L'utilisation de l'eau comme puits thermique permet d'avoir une flexibilité d'usage car nous pourrions utiliser cette «eau froide» pour la renvoyer a nouveau dans la maison par un deuxième système de distribution, à l'image du fonctionnement des chauffe-eaux solaires qui renvoient la chaleur dans un cumulus pour la renvoyer plus tard vers des radiateurs (Figure 4-50). La différence entre ces deux systèmes, chaud et froid, est que dans le cas de refroidissement vers la voûte céleste, l'écart de

température entre l'eau entrant et sortant par les panneaux sera  plus faible, et il faudra pouvoir stocker plus de masse d'eau que dans un cumulus de «chauffe-eau solaire» pour profiter au maximum du potentiel du système. Ce type de réservoir pourrait se mutualiser avec les réservoirs d'eau potable qu'ont souvent les maisons du Moyen Orient en attendant l'aménagement de la zone et l'éventuel arrivé de l'eau par le réseau. Même dans les maisons contemporaines aujourd'hui nous retrouvons souvent ce réservoir qui est périodiquement remplie d'eau potable par camion citerne. Nous pourrions aussi imaginer que un tel réservoir puisse être utilisé pour la récupération des eaux de pluie ou  les eaux grises de la maison et plus tard re-utilisé pour l'arrosage des plantes. Dans tous les cas ce puits thermique est envisageable même si le coût de ce bassin n'est pas inclus dans le coût de cette action. Le système radiatif «air» est plus simple mais sur une toiture en tôle métallique dite «froide» ou ventilée et non accessible. Ainsi, la nuit les tôles métalliques rayonnent et l'air refroidi est récupéré par un petit extracteur qui injecte l'air frais a l'intérieur. La faible puissance disponible nous invite a proposer une récupération directe vers les chambres pour faire face aux nuits chaudes, l'apport ailleurs dans la maison aura une incidence difficile à apercevoir, le faible coût de cette action est évalué sous une hypothèse de toiture en tôle acier. Par contre dans le cas d'une toiture terrasse, son intérêt diminue car il oblige à avoir des panneaux rayonnants juste pour cette action, ce qui fait doublon avec l'étanchéité déjà sous la terrasse et cela prend une place importante en terrasse et nous doutons que les utilisateurs accepteraient.

Dans tous les cas, les systèmes de toit radiatif existent et sont déjà commercialisés (Figure 4-51)

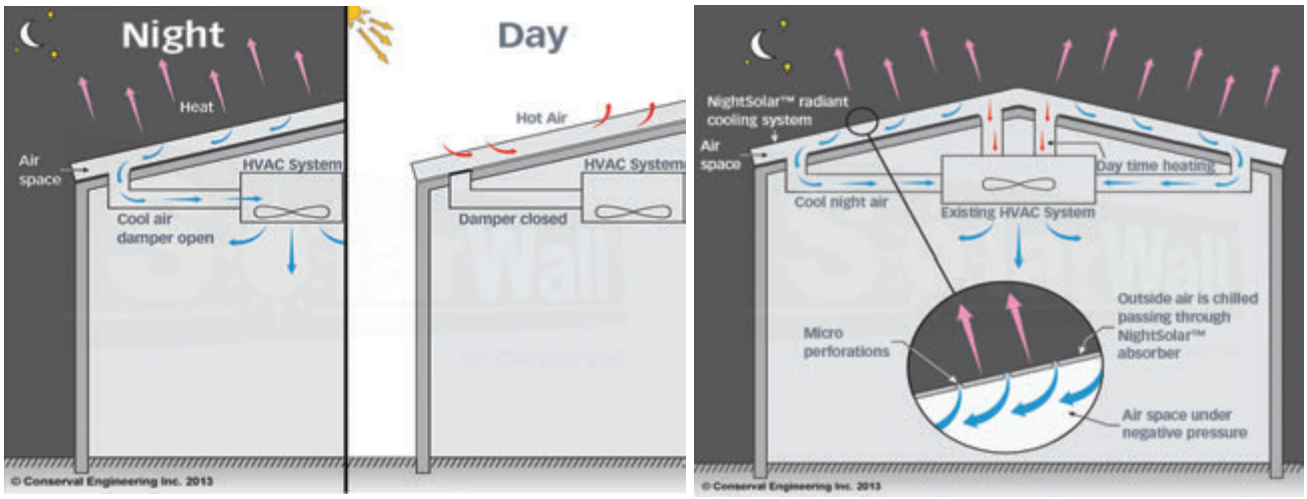


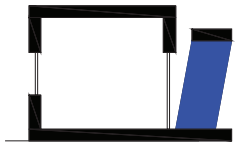

*Figure 4-50  Diagrammes du fonctionnement du système Night Solar pour le refroidissement nocturne et captation diurne par la toiture.*
*Crédit: Societé Conserval Engineering*

*Figure 4-51 Extrait de la revue Canadian Consulting Engineer sur l'implantation de toitures Night Solar de la societé Conserval Engineering.*
*Crédit: CCE mai 2015*

AXE 05

# DIMINUTION DE LA TEMPERATURE EXTERIEURE

**Économie : 45%**



L'habitat vernaculaire en climat chaud est habituellement entouré de mesures qui visent à diminuer la température du périmètre extérieur au bâtiment. Ceci peut se faire par différentes actions architecturales : patios végétalisés, ombragés, humidifiés par des canaux ou des fontaines. Le calcul précis pour voir l'incidence de ce type d'action sur la consommation est très difficile, et coûteux à réaliser. Ainsi nous préférons partir avec la démarche inverse: si nous arrivons a diminuer la température extérieur, quel est le rapport entre cette diminution, peu importe les moyens, et la consommation énergétique.

MODÈLE DE CALCUL E+

Calculé avec EnergyPlus/Design Builder. Nous ne pouvons pas trouver un fichier météorologique qui soit réaliste et qui nous assure une descente des températures lorsque celles-ci produisent de l'inconfort. Ainsi, nous avons gardé notre météo de référence et juste transposé la limite haute du créneau des températures de confort, pour évaluer l'impact d'une diminution de 5ºC dehors, nous établissons une créneau entre 19ºC et 31ºC, résultat de 26ºC+5ºC. Avec ce créneau nous symbolisons une situation avec les critères de confort habituels mais avec une diminution de la température extérieure de 5ºC grâce à d'éventuels aménagements. Nous avons modélisé trois cas différents, avec des écarts de température de 1ºC, 2ºC et 5ºC.

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | DEPENSES ENERGETIQUES | | | | | | POURCENTAGE A LA MAISON DE BASE | | | | | | RECETTES FINANCIERES ECONOMIE ENERGIE | COUT DE L'ACTION ARCHITECTURALE | TEMPS DE REVIENT INVESTISSEMENT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | AN | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | AN % | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | €/an | € | années |
| | | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | | | |
| MODELE DE BASE | 0 | **237,9** | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,7 | **100,0%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | | 0,0 € | 0,0 |
| DELTA T = -1ºC EXT | 5 4 1 | **213,7** | 0,03 | 0,06 | 0,03 | 0,4 | 1,56 | **89,8%** | 100,0% | 60,0% | 60,0% | 90,9% | 91,8% | 649,7 € | 500,0 € | 0,8 |
| DELTA T = -2ºC EXT | 5 4 1 | **186** | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,3 | 1,42 | **78,2%** | 100,0% | 30,0% | 60,0% | 68,2% | 83,5% | 1 394,3 € | 1 000,0 € | 0,7 |
| DELTA T = -5ºC EXT | 5 4 1 | **107** | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,09 | 0,95 | **45,0%** | 100,0% | 30,0% | 60,0% | 20,5% | 55,9% | 3 517,8 € | 3 000,0 € | 0,9 |

DISCUSSION

Les résultats montrent l'importance de réduire la température périphérique extérieure. Avec une réduction de température de 1ºC nous réalisons des consommations de 60% pour les journées S3 et S4 et de 90% pour les journées plus chaudes S5 et S6. Ces économies sont considérables et remettent cette action dans les mesures prioritaires pour la réduction de la consommation. Il faut noter que il est tout de même plus difficile physiquement de réduire de 1ºC dans une journée tempérée que dans les journées les plus chaudes.

Il est aussi à noter que dans les journées tempérées S3 et S4, une petite variation de 2ºC a le même effet sur la consommation de la journée. Cela s'explique par le fait que parfois avec les deux réductions, 2ºC ou 5ºC nous restons déjà sous le seuil de confort, ou très proches, de façon à ne pas créer des besoins de refroidissement.

FAISABILITÉ CONSTRUCTIVE

Refroidir les espaces extérieurs est une pratique ancienne et courante dans l'architecture vernaculaire. Vérandas, patios ombragés, murs végétalisés, fontaines en amont du vent, humidification de la périphérie du bâtiment par aspersion d'eau, ce sont des actions habituelles dans la recherche du confort dans des contextes de pénurie énergétique. Aujourd'hui les actions architecturales contemporaines se sont appropriées ces techniques : murs et/ou toits végétalisés (Photos 4-7 à 4-10), aspersion d'eau par des petites gouttes, fontaines mais cela reste peu maîtrisé et minoritaire. La discussion reste autour la consommation d'eau douce, souvent un ressource rare dans les climats très chauds, par contre l'eau saumâtre ou salée risque de corruption

tout de même garde des propriétés de refroidissement extérieures à exploiter. Le choix de la végétation reste un élément fondamental, plus les essences sont locales, plus évidement elles sont adaptées et peu consommatrices. L'utilisation de mécanismes de refroidissement adiabatique extérieur a l'avantage d'évacuer l'humidité résiduelle résultante du processus sans sur-consommation pour traitement de la déshumidification de l'air intérieur.

RÉFÉRENCES CONTEMPORAINES

Les maisons qui ont participé a la compétition du «Eco House Oman» montrent comme elles se servent de la végétation périphérique pour réduire leur consommation énergétique (Photos 4-7 à 4-10).

*Photo 4-7 Zone périphérique de la maison végétalisée pour faire descendre la température extérieure environnante, Muscat, Oman. Crédit Photo : SQU Ecohouse team*

*Photo 4-8 Présence végétale à proximité immédiate de l'enveloppe extérieur de la maison afin de faire descendre la température environnante, Muscat, Oman. Crédit Photo :SQU Ecohouse team*

*Photo 4-9 Mur végétalisé contre une des parois de la maison pour faire descendre la température extérieure environnante, Muscat, Oman. Crédit Photo : FYusta*

*Photo 4-10 Zone ombragée et végétalisée pour faire descendre la température extérieure environnante, Muscat, Oman. Crédit Photo : FYusta*

AXE 06

# VENTILATEURS ET ADAPTATION HYGROMÉTRIQUE

**Économie : 80%**

DRESS

Avoir froid lors de la visite d'un centre commercial dans une ville au climat très chaud est fréquent. Les restaurants, les taxis, les centres commerciaux, les maisons, les bureaux, peuvent avoir des températures qui frôlent l'inconfort par ses basses températures. Le «standing» d'un centre commercial était par le passé associé aux températures basses. Cette attitude est prolongée à tous les aspects de la vie quotidienne de la région du Moyen Orient. Il est depuis inscrit dans les habitudes que des températures acceptables mais pas très froides est synonyme dans la culture populaire d'un faible pouvoir d'achat des hôtes. Dans la même ligne de comportement, nous trouvons de moins en moins des ventilateurs plafonniers ou muraux comme s'il s'agissait d'une mesure de confort pour les classes les plus populaires.

MODÈLE DE CALCUL E+

Calculé avec EnergyPlus/Design Builder,et considérant que l'utilisateur ne souhait pas que sa maison puisse avoir des températures supérieures à 23ºC. Ainsi, le seuil supérieur de température est descendu à 23ºC. Pour modéliser l'usage d'un ventilateur nous avons élargit le seuil de confort en incluant les dépenses énergétiques de trois ventilateurs présents dans la maison de 50W pour -1ºC et de 70W pour -2ºC: 14 heures de fonctionnement dans une journée S6 et 7 heures de fonctionnement dans une journée S5. A l'année il y a 180 jours S6 et 90 jours S5.

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | | | DEPENSES ENERGETIQUES | | | | | | | POURCENTAGE A LA MAISON DE BASE | | | | | | | RECETTES FINANCIERES ECONOMIE ENERGIE | COUT DE L'ACTION ARCHITECTURALE | TEMPS DE REVIENT INVESTISSEMENT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | AN | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | | AN % | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | | | | |
| | | | | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | | €/an | € | années |
| MODELE DE BASE | 0 | | | **237,9** | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,7 | | **100,0%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | | | 0,0 € | 0,0 |
| VENTIL.50W ( -1ºC) | 6 | 1 | 1 | **215,11** | 0,03 | 0,06 | 0,03 | 0,405 | 1,569 | | **90,4%** | 100,0% | 60,0% | 60,0% | 92,0% | 92,3% | | 611,8 € | 1 920,0 € | 3,1 |
| VENTIL. 75W (-2ºC) | 6 | 1 | 1 | **188,95** | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,307 | 1,433 | | **79,4%** | 100,0% | 30,0% | 60,0% | 69,7% | 84,3% | | 1 314,9 € | 3 120,0 € | 2,4 |
| Faible acceptance | 6 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tmax 23ºC | 6 | 1 | 2 | **360** | 0,14 | 0,4 | 0,28 | 1,11 | 2,1 | | **151,3%** | 466,7% | 400,0% | 560,0% | 252,3% | 123,5% | | -3 282,9 € | -2 000,0 € | -0,6 |
| Revet. interieur | 6 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PAROIS INT BOIS | 6 | 3 | 1 | **238** | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,7 | | **100,1%** | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | | -3,5 € | 3 886,4 € | bad |

DISCUSSION

Descendre la température maximale de 26ºC à 23ºC impliquent une augmentation très importante de la consommation de la maison : 151%. On peut penser que c'est un effet de mode mais il ne faut pas oublier que dû à la température plus élevée des murs et des fenêtres, la température opérative peut être supérieure à celle du seuil du confort. Cela oblige à descendre les consignes de la température de l'air intérieur. En parallèle les ventilateurs plafonniers ne semblent être plus à la mode en ce moment malgré leur intérêt. En effet un ventilateur descend la sensation de chaleur entre 1ºC et 2ºC, ce qui s'avère une source d'économie énergétique substantielle : 90% des consommations de la maison de base pour une descente hypothétique de 1ºC avec un ventilateur de 50W et de 79% pour 2ºC avec un ventilateur de 70W. Le travail scientifique d'Arsen Krikor Melikov et Stefano Schiavon (ASHRAE) montre que la typologie de ventilateur la plus efficace à puissance égale est le ventilateur plafonnier (Figure 4-52). Cependant, c'est le ventilateur à tour qui est capable d'avoir le refroidissement le plus important avec des vitesses moyennes et maximales (Figure 4-53). Dans tous les cas, une réduction de 1ºC à 2ºC semble une hypothèse valide et facile d'atteindre avec les ventilateurs plafonniers qui nous semblent les plus adaptés a une intégration architecturale durable et robuste.

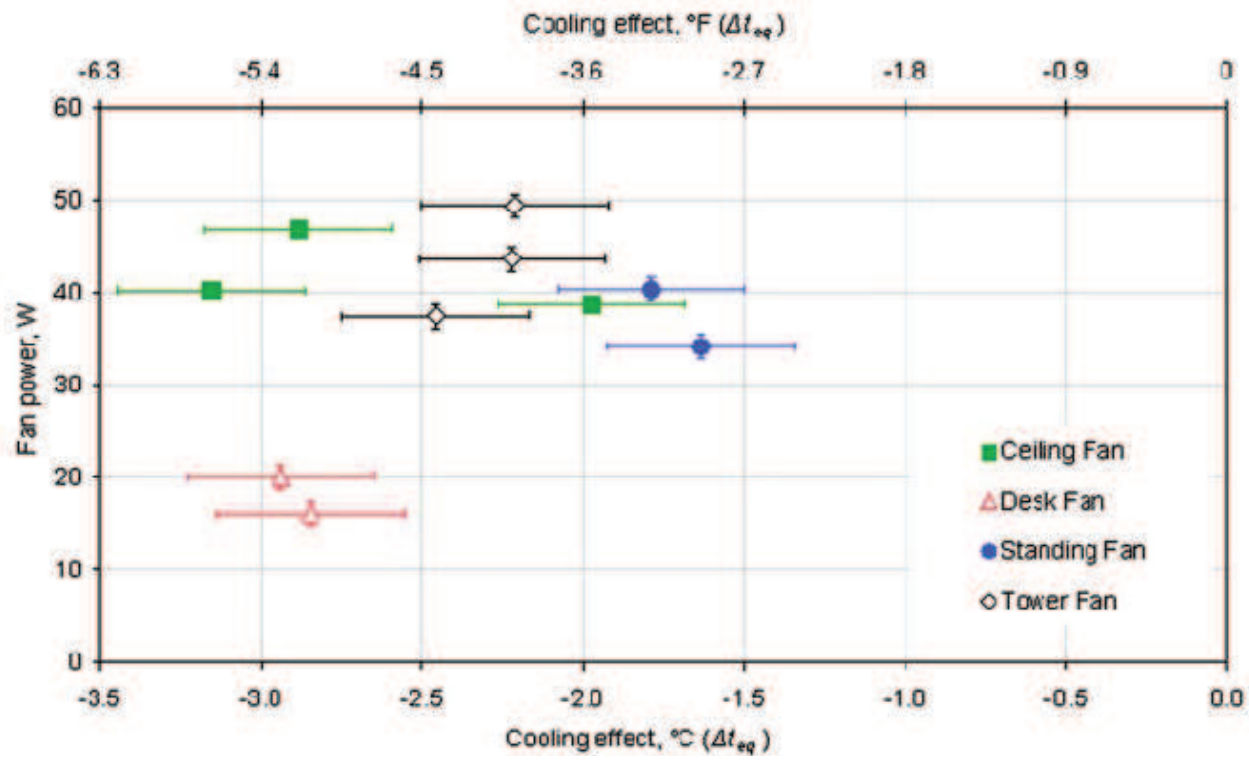



*Figure 4-52 Capacité refroidissante des différents typologies de ventilateurs : plafonnier, sur table, de bout et à tour, en fonction de leur puissance. Crédit: Arsen Krikor Melikov et Stefano Schiavon (ASHRAE)*



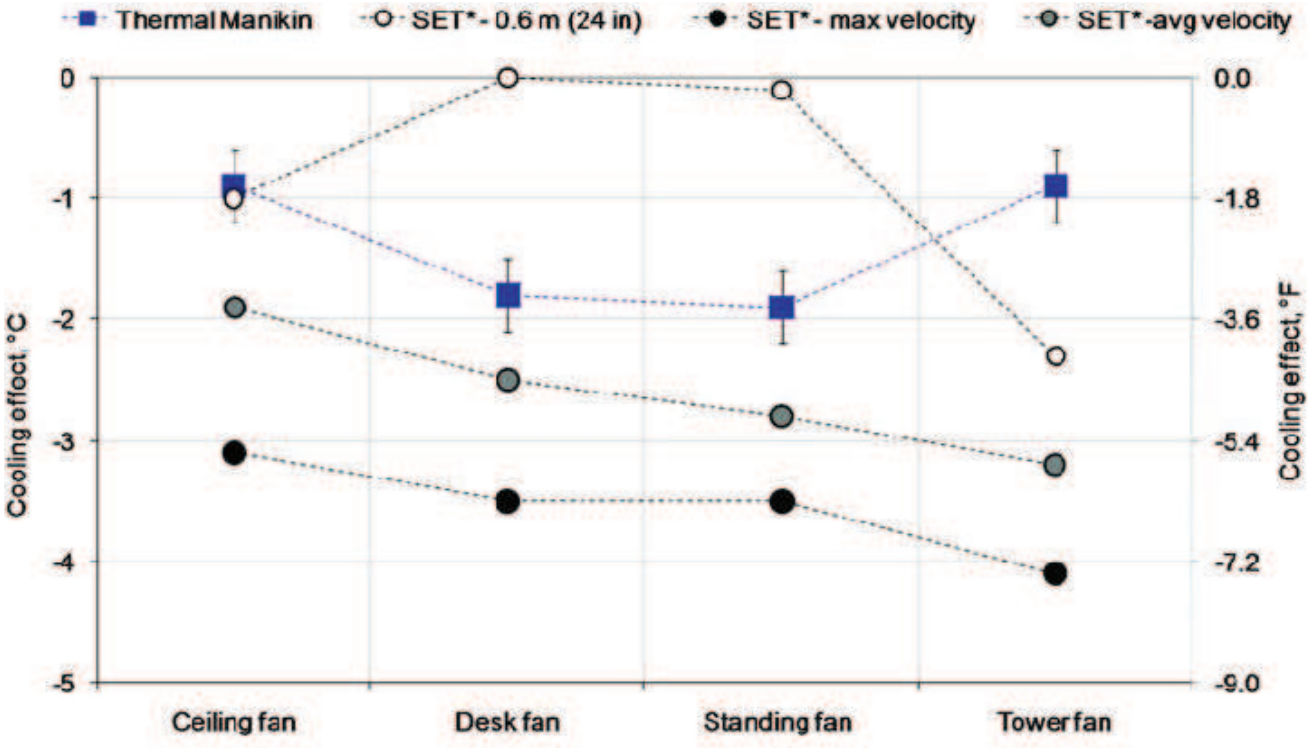



*Figure 4-53 Capacité refroidissante des différents typologies de ventilateurs : plafonnier, sur table, de bout et à tour, en fonction des criteres de refroidissement : par mannequin thermique, hauteur fixe, vitesse moyenne, vitesse maximale. Crédit: Arsen Krikor Melikov et Stefano Schiavon (ASHRAE)*

# 4-5- Tableau récapitulatif des simulations des actions architecturales

Le tableau ci-dessous montre le récapitulatif des résultats des simulations précédentes organisé par des groupes d'actions : protection exterieure, reduction de la chaleur interieure, evacuation, production de froid

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | | | DEPENSES ENERGETIQUES | | | | | | POURCENTAGE A LA MAISON DE BASE | | | | | | RECETTES FINANCIERES ECONOMIE ENERGIE | COUT DE L'ACTION ARCHITECTURALE | TEMPS DE REVIENT INVESTISSEMENT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | AN | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | AN % | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | €/an | € | années |
| | | | | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | | | |
| MODELE DE BASE | 0 | | | 237,87 | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,7 | 100,0% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | | 0,0 € | 0,0 |
| 1-PROTEC. CHALEUR EXT | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Parties vitrees | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Reduction vitres soleil | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | 199 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,32 | 1,5 | 83,7% | 100% | 30% | 60% | 73% | 88% | 1 044,8 € | -24 835,3 € | good |
| 20% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | 218 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,38 | 1,61 | 91,6% | 100% | 30% | 60% | 86% | 95% | 534,1 € | -11 738,0 € | good |
| Vitres sans soleil | 1 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100% VITREE NORD | 1 | 1 | 2 | 227 | 0,03 | 0,05 | 0,04 | 0,43 | 1,67 | 95,4% | 100% | 50% | 80% | 98% | 98% | 292,2 € | 7 463,0 € | 25,5 |
| Orientation vitree 100% | 1 | 1 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| ROTATION NNE 22,5º | 1 | 1 | 3 | 231 | 0,03 | 0,05 | 0,04 | 0,43 | 1,68 | 101,8% | 100% | 100% | 100% | 100% | 101% | -107,5 € | -5 000,0 € | -46,5 |
| ROTATION NE 45º | 1 | 1 | 3 | 240 | 0,03 | 0,05 | 0,04 | 0,47 | 1,73 | 105,7% | 100% | 100% | 100% | 109% | 104% | -349,4 € | -10 000,0 € | -28,6 |
| Protection vitres exterieur | 1 | 1 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | |
| BSOLEIL 4 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 231 | 0,03 | 0,07 | 0,04 | 0,42 | 1,68 | 97,1% | 100% | 70% | 80% | 95% | 99% | 184,7 € | 20 370,0 € | 110,3 |
| BSOLEIL 8 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 225 | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,39 | 1,65 | 94,6% | 100% | 40% | 60% | 89% | 97% | 345,9 € | 27 159,9 € | 78,5 |
| BSOLEIL 16 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 216 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,36 | 1,61 | 90,8% | 100% | 30% | 60% | 82% | 95% | 587,9 € | 38 023,9 € | 64,7 |
| ENCADREMENT 50CM | 1 | 1 | 4 | 228 | 0,03 | 0,06 | 0,04 | 0,4 | 1,66 | 95,9% | 100% | 60% | 80% | 91% | 98% | 265,3 € | 17 300,5 € | 65,2 |
| ENCADREMENT 1M | 1 | 1 | 4 | 224 | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,38 | 1,64 | 94,2% | 100% | 40% | 60% | 86% | 96% | 372,8 € | 51 170,4 € | 137,3 |
| SANS PROTECTION EXT | 1 | 1 | 4 | 239 | 0,03 | 0,1 | 0,051 | 0,45 | 1,71 | 100,5% | 100% | 100% | 102% | 102% | 101% | -30,4 € | -16 569,4 € | -545,5 |
| SANS PROTEC EXT + INT | 1 | 1 | 4 | 252 | 0,03 | 0,11 | 0,053 | 0,47 | 1,78 | 105,9% | 100% | 110% | 106% | 107% | 105% | -379,8 € | -25 432,5 € | -67,0 |
| Protection vitres interieur | 1 | 1 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| NO RIDEAUX | 1 | 1 | 5 | 241 | 0,03 | 0,09 | 0,05 | 0,46 | 1,73 | 101,3% | 100% | 90% | 100% | 105% | 102% | -84,1 € | -8 863,1 € | -105,3 |
| RIDEAU REFLECTANT | 1 | 1 | 5 | 220 | 0,03 | 0,07 | 0,03 | 0,38 | 1,62 | 92,5% | 100% | 70% | 60% | 86% | 95% | 480,3 € | 1 772,6 € | 3,7 |
| Parties opaques | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| isolation murs | 1 | 2 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| NO ISOLATION | 1 | 2 | 1 | 301 | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,63 | 2,09 | 126,5% | 100% | 100% | 100% | 143% | 123% | -1 696,9 € | -11 995,7 € | -7,1 |
| ISOLATION FAIBLE 5cm | 1 | 2 | 1 | 249 | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,47 | 1,78 | 104,7% | 100% | 100% | 100% | 107% | 105% | -299,2 € | -5 931,8 € | -19,8 |
| ISOL.FORTE 20/30cm | 1 | 2 | 1 | 237 | 0,03 | 0,1 | 0,04 | 0,44 | 1,7 | 99,6% | 100% | 100% | 80% | 100% | 100% | 23,4 € | 7 884,2 € | 337,1 |
| ISOLATION PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | 194 | 0,03 | 0,1 | 0,08 | 0,43 | 1,36 | 81,6% | 100% | 100% | 160% | 98% | 80% | 1 179,2 € | 4 152,4 € | 3,5 |
| ISOL. FORTE+PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | 190 | 0,03 | 0,1 | 0,08 | 0,42 | 1,33 | 79,9% | 100% | 100% | 160% | 95% | 78% | 1 286,7 € | 12 036,7 € | 9,4 |
| Sans ponts thermiques | 1 | 2 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| ITI-SUPPRESSION 100% | 1 | 2 | 2 | 228 | 0,03 | 0,1 | 0,04 | 0,42 | 1,64 | 95,9% | 100% | 100% | 80% | 95% | 96% | 265,3 € | 8 880,0 € | 33,5 |
| rendement fenetre | 1 | 2 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| SV Ug:5,8 (6mm) | 1 | 2 | 3 | 256 | 0,03 | 0,14 | 0,06 | 0,49 | 1,81 | 107,6% | 100% | 140% | 120% | 111% | 106% | -487,3 € | -7 027,2 € | -14,4 |
| TV Ug0,6 (6-13-6-13-6) | 1 | 2 | 3 | 230 | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,43 | 1,65 | 96,7% | 100% | 100% | 100% | *98%* | 97% | 211,5 € | 7 836,1 € | 37,0 |
| OBSCURE G:0,15 TL:0,2 | 1 | 2 | 3 | 209 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,34 | 1,57 | 87,9% | 100% | 30% | 60% | 77% | 92% | 776,0 € | 21 623,0 € | 27,9 |
| VITRE OBSCURE CE | 1 | 2 | 3 | 210 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,35 | 1,58 | 88,3% | 100% | 30% | 60% | 80% | 93% | 749,1 € | 21 623,0 € | 28,9 |
| Etanchéité à l'air | 1 | 2 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | |
| N50 5 v/h vs 16,5 v/h | 1 | 2 | 4 | 179 | 0,03 | 0,09 | 0,04 | 0,37 | 1,2 | 75,3% | 100% | 90% | 80% | 84% | 71% | 1 582,4 € | 470,6 € | 0,3 |
| N50 2 v/h vs 16,5 v/h | 1 | 2 | 4 | 161 | 0,03 | 0,09 | 0,04 | 0,34 | 1 | 67,7% | 100% | 90% | 80% | 77% | 59% | 2 066,3 € | 1 411,8 € | 0,7 |
| N50 0,6 v/h | 1 | 2 | 4 | 153 | 0,03 | 0,09 | 0,04 | 0,33 | 0,9 | 64,3% | 100% | 90% | 80% | 75% | 53% | 2 281,3 € | 3 174,3 € | 1,4 |
| Matériaux façades | 1 | 2 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| METAL EMISS: 0,3 | 1 | 2 | 5 | 236 | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,69 | 99,2% | 100% | 100% | 100% | 100% | 99% | 50,3 € | 3 874,7 € | 77,1 |
| BOIS EMISS: 0,9 | 1 | 2 | 5 | 235 | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,69 | 98,8% | 100% | 100% | 100% | 100% | 99% | 77,1 € | 4 845,8 € | 62,8 |
| Ombrage mur opaque | 1 | 2 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | |
| LAME VENTILÉE | 1 | 2 | 6 | 235,94 | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,69 | 99,2% | 100% | 100% | 100% | 100% | 99% | 51,9 € | 33 007,7 € | 636,3 |
| Compacité | 1 | 2 | 7 | | | | | | | | | | | | | | | |
| PLEIN PIED | 1 | 2 | 7 | 286 | 0,03 | 0,1 | 0,03 | 0,47 | 2,6 | 120,2% | 100% | 100% | 60% | 107% | 153% | -1 293,7 € | 12 959,6 € | bad |
| Ventilation | 1 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VMC2F Exch Therm | 1 | 3 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| VMC 2F Etherm | 1 | 3 | 1 | 232 | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,66 | 97,5% | 100% | 100% | 100% | 100% | 98% | 157,8 € | 19 340,2 € | 122,6 |
| VMC 2F ET+ N50 2v/h | 1 | 3 | 1 | 154 | 0,03 | 0,09 | 0,04 | 0,37 | 0,91 | 64,7% | 100% | 90% | 80% | 84% | 54% | 2 254,4 € | 41 504,0 € | 18,4 |
| Ventilation par puits souterrain | 1 | 3 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 v/h par puits | 1 | 3 | 2 | 237 | 0,03 | 0,098 | 0,049 | 0,43 | 1,7 | 99,6% | 100% | 98% | 98% | 98% | 100% | 23,4 € | 1 980,0 € | 84,7 |
| 5 v/h par puits | 1 | 3 | 2 | 237 | 0,03 | 0,094 | 0,047 | 0,435 | 1,71 | 99,6% | 100% | 94% | 94% | 99% | 101% | 23,4 € | 1 980,0 € | 84,7 |

*Figure 4-28 Tableau récapitulatif des performances annuelles (cas particulier de la météo de Dubaï) et journaliers de la maison de base et de ses variantes.*

passif, refroidissement périphérique et adaptation a la chaleur, et ceci par simulation annuelle dans une ville, Dubaï, et par saisons climatiques associés aux jours types S2 a S6. Le S1 n'existe pas dans la meteo annuelle de Dubaï et en generale dans les climats «tres chauds».

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | | | DEPENSES ENERGETIQUES | | | | | | POURCENTAGE A LA MAISON DE BASE | | | | | | RECETTES FINANCIERES ECONOMIE ENERGIE | COUT DE L'ACTION ARCHITECTURALE | TEMPS DE REVIENT INVESTISSEMENT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | AN | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | AN % | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | | | |
| | | | | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | €/an | € | années |
| MODELE DE BASE | 0 | | | **237,87** | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,7 | **100,0%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | | 0,0 € | 0,0 |
| 2- CHALEUR INTERNE | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Electroménagers faibles | 2 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Eclairage | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| rad/vis/conv:0,8/0,1/0,1 | 2 | 1 | 1 | **237,42** | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,65 | **99,8%** | 100% | 100% | 100% | 100% | 97% | 12,1 € | 500,0 € | 41,3 |
| rad/vis/conv:0,1/0,8/0,1 | 2 | 1 | 1 | **237,31** | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,65 | **99,8%** | 100% | 100% | 100% | 100% | 97% | 15,1 € | 500,0 € | 33,2 |
| rad/vis/conv:0,1/0,1/0,8 | 2 | 1 | 1 | **238,6** | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,72 | **100,3%** | 100% | 100% | 100% | 100% | 101% | -19,6 € | 500,0 € | bad |
| 3-EVACUATION CHALEUR | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Evacuation Convective | 3 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ventil. naturelle | 3 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| VENTIL+INFILTR. | 3 | 1 | 1 | 237,87 | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,7 | **100,0%** | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 0,0 € | 1,0 € | NA |
| NON V+I | 3 | 1 | 1 | 244 | 0,03 | 0,14 | 0,05 | 0,52 | 1,7 | **102,6%** | 100,0% | 140,0% | 100,0% | 118,2% | 100,0% | -164,8 € | -5 000,0 € | -30,3 |
| V+NON I | 3 | 1 | 1 | 149 | 0,03 | 0,09 | 0,04 | 0,32 | 0,87 | **62,6%** | 100,0% | 90,0% | 80,0% | 72,7% | 51,2% | 2 388,8 € | 3 174,3 € | 1,3 |
| NON V.+NON I. | 3 | 1 | 1 | 154 | 0,03 | 0,15 | 0,05 | 0,36 | 0,87 | **64,7%** | 100,0% | 150,0% | 100,0% | 81,8% | 51,2% | 2 254,4 € | -1 825,7 € | good |
| Free cooling | 3 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| FREE COOLING 15m3/h | 3 | 1 | 2 | **239,45** | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,47 | 1,7 | **100,7%** | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 106,8% | 100,0% | -42,5 € | 9 140,2 € | bad |
| Evacuation radiative | 3 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Décharge ciel | 3 | 2 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| RADIANT COOLING | 3 | 2 | 1 | 219,38 | 0,04 | 0,09 | 0,04 | 0,39 | 1,6 | **92,2%** | 133,3% | 90,0% | 80,0% | 88,6% | 94,1% | 497,0 € | 4 500,0 € | 9,1 |
| Evacuation vers masse thermique | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Masse thermique | 3 | 3 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIMINU. T. M.THERM | 3 | 3 | 1 | **239** | 0,05 | 0,15 | 0,08 | 0,47 | 1,68 | **100,5%** | 166,7% | 150,0% | 160,0% | 106,8% | 98,8% | -30,4 € | -10 398,2 € | -342,3 |
| AUGMENT. M.THERM | 3 | 3 | 1 | **237** | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,69 | **99,6%** | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 99,4% | 23,4 € | 5 139,4 € | 219,8 |
| M. THERM. AMPLIFIEx50 | 3 | 3 | 1 | **241** | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,43 | 1,76 | **101,3%** | 100,0% | 30,0% | 60,0% | 97,7% | 103,5% | -84,1 € | 10 966,0 € | bad |
| 4- FROID PASSIF | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rafrai. adiabatique | 4 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| adiabatique directe | 4 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| UNITÉ EXT. ADIAB. | 4 | 1 | 1 | **X** | X | X | X | X | X | **x** | x | x | x | x | x | 0,0 € | 2 608,0 € | NA |
| Refroidissement radiatif | 4 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| air frais s/toiture | 4 | 2 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXTRACT.S/TOIT RAD | 4 | 2 | 1 | **230,13** | 0,03 | 0,09 | 0,04 | 0,42 | 1,66 | **96,7%** | 100,0% | 90,0% | 80,0% | 95,5% | 97,6% | 208,1 € | 500,0 € | 2,4 |
| 5-REDUCTION CHALEUR EXT | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Périphérie proche | 5 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| veget/ombra/humid | 5 | 4 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| DELTA T = -1ºC EXT | 5 | 4 | 1 | **213,7** | 0,03 | 0,06 | 0,03 | 0,4 | 1,56 | **89,8%** | 100,0% | 60,0% | 60,0% | 90,9% | 91,8% | 649,7 € | 500,0 € | 0,8 |
| DELTA T = -2ºC EXT | 5 | 4 | 1 | **186** | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,3 | 1,42 | **78,2%** | 100,0% | 30,0% | 60,0% | 68,2% | 83,5% | 1 394,3 € | 1 000,0 € | 0,7 |
| DELTA T = -5ºC EXT | 5 | 4 | 1 | **107** | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,09 | 0,95 | **45,0%** | 100,0% | 30,0% | 60,0% | 20,5% | 55,9% | 3 517,8 € | 3 000,0 € | 0,9 |
| 6-CONFORT PASSIF | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bioregulation | 6 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ventilateurs | 6 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| VENTIL.50W ( -1ºC) | 6 | 1 | 1 | **215,11** | 0,03 | 0,06 | 0,03 | 0,4047 | 1,569 | **90,4%** | 100,0% | 60,0% | 60,0% | 92,0% | 92,3% | 611,8 € | 1 920,0 € | 3,1 |
| VENTIL. 75W (-2ºC) | 6 | 1 | 1 | **188,95** | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,3066 | 1,4331 | **79,4%** | 100,0% | 30,0% | 60,0% | 69,7% | 84,3% | 1 314,9 € | 3 120,0 € | 2,4 |
| Faible acceptance | 6 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tmax 23ºC | 6 | 1 | 2 | **360** | 0,14 | 0,4 | 0,28 | 1,11 | 2,1 | **151,3%** | 466,7% | 400,0% | 560,0% | 252,3% | 123,5% | -3 282,9 € | -2 000,0 € | -0,6 |
| Revet. interieur | 6 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PAROIS INT BOIS | 6 | 3 | 1 | **238** | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,7 | **100,1%** | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | -3,5 € | 6 893,0 € | bad |

# 5 Synthèse architecturale

## 5-1 Stratégies et hiérarchisation des actions par saison climatique

Indépendamment de la situation géographique de la ville, chacune des saisons climatiques, S1 à S6, a une stratégie thermique universelle et propre. Nous pouvons analyser a partir des modèles les actions qui ont la plus grande influence par saison climatique. Cette analyse nous allons la faire selon deux critères différents : la meilleure efficacité énergétique et le meilleur temps de retour sur investissement . Selon le premier critére, nous serons peu concernés par le prix finale des actions mises en oeuvre pour y arriver et obtiendrons ainsi une liste d'actions qui seront compatibles entre elles. Dans ce liste, plus on choisira des actions, mieux le modèle se comportera en termes énergétiques. Dans le deuxième cas nous obtiendrons une liste d'actions par saison

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | | | % CONSOMMATION MAISON DE BASE | | | | | | TEMPS DE REVIENT E+/BATIPRIX | | | | | | TEMPS interpreté |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | AN | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | |
| | | | | % kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | années | années | années | années | années | années | |
| MODELE DE BASE | 0 | | | 100,0% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 0,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| DELTA T = -5ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 45,0% | 100,0% | 30,0% | 60,0% | 20,5% | 55,9% | 0,9 | NA | 4,4 | 15,3 | 0,9 | 0,4 | 0,9 |
| INFILTR. N50 0,6 v/h | 1 | 2 | 4 | 64,3% | 100% | 90% | 80% | 75% | 53% | 1,4 | NA | 32,4 | 32,4 | 2,9 | 0,4 | 1,4 |
| INFILTR. N50 2 v/h | 1 | 2 | 4 | 67,7% | 100% | 90% | 80% | 77% | 59% | 0,7 | NA | 14,4 | 14,4 | 1,4 | 0,2 | 0,7 |
| INFILTR. N50 5 v/h | 1 | 2 | 4 | 75,3% | 100% | 90% | 80% | 84% | 71% | 0,3 | NA | NA | NA | NA | NA | 0,3 |
| DELTA T = -2ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 78,2% | 100,0% | 30,0% | 60,0% | 68,2% | 83,5% | 0,7 | NA | 1,5 | 5,1 | 0,7 | 0,4 | 0,7 |
| VENTIL. 75W (-2ºC) | 6 | 1 | 1 | 79,4% | 100,0% | 30,0% | 60,0% | 69,7% | 84,3% | 2,4 | NA | 4,5 | 15,9 | 2,4 | 1,2 | 2,4 |
| ISOL. FORTE+PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | 79,9% | 100% | 100% | 160% | 95% | 78% | 9,4 | NA | NA | -40,9 | 61,3 | 3,3 | 9,4 |
| ISOLATION PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | 81,6% | 100% | 100% | 160% | 98% | 80% | 3,5 | NA | NA | -14,1 | 42,3 | 1,2 | 3,5 |
| 10% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | 83,7% | 100% | 30% | 60% | 73% | 88% | -23,8 | NA | -36,2 | -126,6 | -21,1 | -12,7 | good |
| VITRAGE SOLAIRE G:0,15 TL:0,2 | 1 | 2 | 3 | 87,9% | 100% | 30% | 60% | 77% | 92% | 27,9 | NA | 31,5 | 110,2 | 22,0 | 17,0 | 27,9 |
| VITRE OBSCURE+CE | 1 | 2 | 3 | 88,3% | 100% | 30% | 60% | 80% | 93% | 28,9 | NA | 31,5 | NA | NA | 18,4 | 28,9 |
| DELTA T = -1ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 89,8% | 100,0% | 60,0% | 60,0% | 90,9% | 91,8% | 0,8 | NA | 1,3 | 2,5 | 1,3 | 0,4 | 0,8 |
| VENTIL.50W ( -1ºC) | 6 | 1 | 1 | 90,4% | 100,0% | 60,0% | 60,0% | 92,0% | 92,3% | 3,1 | NA | 4,9 | 9,8 | 5,5 | 1,5 | 3,1 |
| BSOLEIL 16 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 90,8% | 100% | 30% | 60% | 82% | 95% | 64,7 | NA | 55,4 | NA | NA | 43,1 | 64,7 |
| 20% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | 91,6% | 100% | 30% | 60% | 86% | 95% | -22,0 | NA | -17,1 | -59,8 | -19,9 | -13,3 | good |
| RIDEAU REFLECTANT | 1 | 1 | 5 | 92,5% | 100% | 70% | 60% | 86% | 95% | 3,7 | NA | 6,0 | 9,0 | 3,0 | 2,3 | 3,7 |
| ENCADREMENT 1M | 1 | 1 | 4 | 94,2% | 100% | 40% | 60% | 86% | 96% | 137,3 | NA | 86,9 | 260,8 | 86,9 | 86,9 | 137,3 |
| BSOLEIL 8 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 94,6% | 100% | 40% | 60% | 89% | 97% | 78,5 | NA | 46,1 | 138,4 | 55,4 | 55,4 | 78,5 |
| 100% VITREE NORD | 1 | 1 | 2 | 95,4% | 100% | 50% | 80% | 98% | 98% | 25,5 | NA | 15,2 | 76,1 | 76,1 | 25,4 | 25,5 |
| ITI-SUPPRESSION 100% | 1 | 2 | 2 | 95,9% | 100% | 100% | 80% | 95% | 96% | 33,5 | NA | NA | 90,5 | 45,3 | 15,1 | 33,5 |
| ENCADREMENT 50CM | 1 | 1 | 4 | 95,9% | 100% | 60% | 80% | 91% | 98% | 65,2 | NA | 44,1 | 176,3 | 44,1 | 44,1 | 65,2 |
| TV Ug0,6 (6-13-6-13-6) | 1 | 2 | 3 | 96,7% | 100% | 100% | 100% | 98% | 97% | 37,0 | NA | NA | NA | 79,9 | 16,0 | 37,0 |
| BSOLEIL 4 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 97,1% | 100% | 70% | 80% | 95% | 99% | 110,3 | NA | 69,2 | 207,6 | 103,8 | 103,8 | 110,3 |
| VMC 2F Etherm | 1 | 3 | 1 | 97,5% | 100% | 100% | 100% | 100% | 98% | 122,6 | NA | NA | NA | NA | 49,3 | 122,6 |
| BOIS EMISS: 0,9 | 1 | 2 | 5 | 98,8% | 100% | 100% | 100% | 100% | 99% | 62,8 | NA | NA | NA | NA | 49,4 | 62,8 |
| LAME VENTILÉE | 1 | 2 | 6 | 99,2% | 100% | 100% | 100% | 100% | 99% | 636,3 | NA | NA | NA | NA | 336,4 | 636,3 |
| METAL EMISS: 0,3 | 1 | 2 | 5 | 99,2% | 100% | 100% | 100% | 100% | 99% | 77,1 | NA | NA | NA | NA | 39,5 | 77,1 |
| PUITS ENTERRES 1 v/h | 1 | 3 | 2 | 99,6% | 100% | 98% | 98% | 98% | 100% | 84,7 | NA | NA | NA | NA | NA | 84,7 |
| PUITS ENTERRES 5 v/h | 1 | 3 | 2 | 99,6% | 100% | 94% | 94% | 99% | 101% | 84,7 | NA | NA | NA | NA | -20,2 | 84,7 |
| AUGMENT. M.THERM | 3 | 3 | 1 | 99,6% | 100% | 100% | 100% | 100% | 99% | 219,8 | NA | NA | NA | NA | 52,4 | 219,8 |
| ISOL.FORTE 20/30cm | 1 | 2 | 1 | 99,6% | 100% | 100% | 80% | 100% | 100% | 337,1 | NA | NA | 80,4 | NA | NA | 337,1 |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,1/0,8/0,1 | 2 | 1 | 1 | 99,8% | 100% | 100% | 100% | 100% | 97% | 33,2 | NA | NA | NA | NA | NA | 33,2 |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,8/0,1/0,1 | 2 | 1 | 1 | 99,8% | 100% | 100% | 100% | 100% | 97% | 41,3 | NA | NA | NA | NA | NA | 41,3 |
| PAROIS INT BOIS | 6 | 3 | 1 | 100,1% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | -1972,6 | NA | NA | NA | NA | NA | bad |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,1/0,1/0,8 | 2 | 1 | 1 | 100,3% | 100% | 100% | 100% | 100% | 101% | -25,5 | NA | NA | NA | NA | NA | bad |
| SANS PROTECTION EXT | 1 | 1 | 4 | 100,5% | 100% | 100% | 102% | 102% | 101% | 545,5 | NA | NA | NA | NA | 168,9 | -545,5 |
| DIMINUT. M.THERM | 3 | 3 | 1 | 100,5% | 166,7% | 150,0% | 160,0% | 106,8% | 98,8% | 342,3 | 53,0 | 21,2 | 35,3 | 35,3 | -53,0 | -342,3 |
| FREE COOLING 15m3/h | 3 | 1 | 2 | 100,7% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 106,8% | 100,0% | -215,2 | NA | NA | NA | -31,1 | NA | bad |
| NO RIDEAUX | 1 | 1 | 5 | 101,3% | 100% | 90% | 100% | 105% | 102% | 105,3 | NA | -90,3 | NA | 45,2 | 30,1 | -105,3 |
| M. THERM. AMPLIFIEx50 | 3 | 3 | 1 | 101,3% | 100,0% | 30,0% | 60,0% | 97,7% | 103,5% | -130,3 | NA | 16,0 | 55,9 | 111,8 | -18,6 | bad |
| ROTATION NNE 22,5º | 1 | 1 | 3 | 101,8% | 100% | 100% | 100% | 100% | 101% | 46,5 | NA | NA | NA | NA | 51,0 | -46,5 |
| NO VENTILATION | 3 | 1 | 1 | 102,6% | 100% | 140% | 100% | 118% | 100% | 30,3 | NA | 12,7 | NA | 6,4 | NA | -30,3 |
| ISOLATION FAIBLE 5cm | 1 | 2 | 1 | 104,7% | 100% | 100% | 100% | 107% | 105% | 19,8 | NA | NA | NA | 20,2 | 7,6 | -19,8 |
| ROTATION NE 45º | 1 | 1 | 3 | 105,7% | 100% | 100% | 100% | 109% | 104% | 28,6 | NA | NA | NA | 25,5 | 17,0 | -28,6 |
| SANS PROTEC EXT + INT | 1 | 1 | 4 | 105,9% | 100% | 110% | 106% | 107% | 105% | 67,0 | NA | 259,2 | NA | NA | 32,4 | -67,0 |
| SV Ug:5,8 (6mm) | 1 | 2 | 3 | 107,6% | 100% | 140% | 120% | 111% | 106% | 14,4 | NA | 17,9 | 71,6 | 14,3 | 6,5 | -14,4 |
| COMPACT PLEIN PIED | 1 | 2 | 7 | 120,2% | 100% | 100% | 60% | 107% | 153% | -10,0 | NA | NA | 66,0 | -44,0 | -1,5 | bad |
| NO ISOLATION | 1 | 2 | 1 | 126,5% | 100% | 100% | 100% | 143% | 123% | 7,1 | NA | NA | NA | 6,4 | 3,1 | -7,1 |
| Tmax 23ºC INT | 6 | 1 | 2 | 151,3% | 466,7% | 400,0% | 560,0% | 252,3% | 123,5% | 0,6 | 1,9 | 0,7 | 0,9 | 0,3 | 0,5 | -0,6 |

*Figure 5-1 Classement des actions en fonction de leur efficacité énergétique annuelle*

et classé selon la durée du temps de retour sur investissement . Ce deuxième critère est intimement lié à un contexte tarifaire de l'énergie, ainsi nous pouvons supposer que si les prix de l'électricité augmentait, l'équation n'est plus la même et les temps de retour se raccourcissent en fonction de l'efficacité de l'action.

## 5-1-1 Stratégies et hiérarchisation annuel dans un cas précis.

### 5-1-1-1 Modèle selon l'efficacité annuelle pour le cas précis d'une ville: Dubaï

La classification des actions par leur performances annuelles est montré dans la Figure 5-1 selon un critére d'efficacité pure et par la Figure 5-2 selon le critére de temps de revient. Il en ressort que pour le climat spécifique de Dubaï, les actions les plus efficaces sont :

1- La réduction de la température extérieure par les moyens d'ombrage, humidification, ou végétalisation. Dans un climat humide comme celui de Dubaï le soir, il faut imaginer que cette mesure n'est possible que par ombrage et par humidification uniquement pendant la journée.

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | | | % CONSOMMATION MAISON DE BASE | | | | | | TEMPS DE REVIENT E+/BATIPRIX | | | | | | TEMPS interpreté |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | AN % | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | | S2 1-janv. | S3 30-nov. | S4 19-févr. | S5 14-avr. | S6 16-août | |
| | | | | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | années | années | années | années | années | années | |
| MODELE DE BASE | 0 | | | 100,0% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 0,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| SANS PROTECTION EXT | 1 | 1 | 4 | 100,5% | 100% | 100% | 102% | 102% | 101% | 545,5 | NA | NA | NA | NA | 168,9 | -545,5 |
| DIMINUT. M.THERM | 3 | 3 | 1 | 100,5% | 166,7% | 150,0% | 160,0% | 106,8% | 98,8% | 342,3 | 53,0 | 21,2 | 35,3 | 35,3 | -53,0 | -342,3 |
| NO RIDEAUX | 1 | 1 | 5 | 101,3% | 100% | 90% | 100% | 105% | 102% | 105,3 | NA | -90,3 | NA | 45,2 | 30,1 | -105,3 |
| SANS PROTEC EXT + INT | 1 | 1 | 4 | 105,9% | 100% | 110% | 106% | 107% | 105% | 67,0 | NA | 259,2 | NA | NA | 32,4 | -67,0 |
| ROTATION NNE 22,5º | 1 | 1 | 3 | 101,8% | 100% | 100% | 100% | 100% | 101% | 46,5 | NA | NA | NA | NA | 51,0 | -46,5 |
| NO VENTILATION | 3 | 1 | 1 | 102,6% | 100% | 140% | 100% | 118% | 100% | 30,3 | NA | 12,7 | NA | 6,4 | NA | -30,3 |
| ROTATION NE 45º | 1 | 1 | 3 | 105,7% | 100% | 100% | 100% | 109% | 104% | 28,6 | NA | NA | NA | 25,5 | 17,0 | -28,6 |
| ISOLATION FAIBLE 5cm | 1 | 2 | 1 | 104,7% | 100% | 100% | 100% | 107% | 105% | 19,8 | NA | NA | NA | 20,2 | 7,6 | -19,8 |
| SV Ug:5,8 (6mm) | 1 | 2 | 3 | 107,6% | 100% | 140% | 120% | 111% | 106% | 14,4 | NA | 17,9 | 71,6 | 14,3 | 6,5 | -14,4 |
| NO ISOLATION | 1 | 2 | 1 | 126,5% | 100% | 100% | 100% | 143% | 123% | 7,1 | NA | NA | NA | 6,4 | 3,1 | -7,1 |
| Tmax 23ºC INT | 6 | 1 | 2 | 151,3% | 466,7% | 400,0% | 560,0% | 252,3% | 123,5% | 0,6 | 1,9 | 0,7 | 0,9 | 0,3 | 0,5 | -0,6 |
| INFILTR. N50 5 v/h | 1 | 2 | 4 | 75,3% | 100% | 90% | 80% | 84% | 71% | 0,3 | NA | NA | NA | NA | NA | 0,3 |
| INFILTR. N50 2 v/h | 1 | 2 | 4 | 67,7% | 100% | 90% | 80% | 77% | 59% | 0,7 | NA | 14,4 | 14,4 | 1,4 | 0,2 | 0,7 |
| DELTA T = -2ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 78,2% | 100,0% | 30,0% | 60,0% | 68,2% | 83,5% | 0,7 | NA | 1,5 | 5,1 | 0,7 | 0,4 | 0,7 |
| DELTA T = -1ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 89,8% | 100,0% | 60,0% | 60,0% | 90,9% | 91,8% | 0,8 | NA | 1,3 | 2,5 | 1,3 | 0,4 | 0,8 |
| DELTA T = -5ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 45,0% | 100,0% | 30,0% | 60,0% | 20,5% | 55,9% | 0,9 | NA | 4,4 | 15,3 | 0,9 | 0,4 | 0,9 |
| INFILTR. N50 0,6 v/h | 1 | 2 | 4 | 64,3% | 100% | 90% | 80% | 75% | 53% | 1,4 | NA | 32,4 | 32,4 | 2,9 | 0,4 | 1,4 |
| VENTIL. 75W (-2ºC) | 6 | 1 | 1 | 79,4% | 100,0% | 30,0% | 60,0% | 69,7% | 84,3% | 2,4 | NA | 4,5 | 15,9 | 2,4 | 1,2 | 2,4 |
| VENTIL.50W ( -1ºC) | 6 | 1 | 1 | 90,4% | 100,0% | 60,0% | 60,0% | 92,0% | 92,3% | 3,1 | NA | 4,9 | 9,8 | 5,5 | 1,5 | 3,1 |
| ISOLATION PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | 81,6% | 100% | 100% | 160% | 98% | 80% | 3,5 | NA | NA | -14,1 | 42,3 | 1,2 | 3,5 |
| RIDEAU REFLECTANT | 1 | 1 | 5 | 92,5% | 100% | 70% | 60% | 86% | 95% | 3,7 | NA | 6,0 | 9,0 | 3,0 | 2,3 | 3,7 |
| ISOL. FORTE+PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | 79,9% | 100% | 100% | 160% | 95% | 78% | 9,4 | NA | NA | -40,9 | 61,3 | 3,3 | 9,4 |
| 100% VITREE NORD | 1 | 1 | 2 | 95,4% | 100% | 50% | 80% | 98% | 98% | 25,5 | NA | 15,2 | 76,1 | 76,1 | 25,4 | 25,5 |
| VITRAGE SOLAIRE G:0,15 TL:0,2 | 1 | 2 | 3 | 87,9% | 100% | 30% | 60% | 77% | 92% | 27,9 | NA | 31,5 | 110,2 | 22,0 | 17,0 | 27,9 |
| VITRE OBSCURE+CE | 1 | 2 | 3 | 88,3% | 100% | 30% | 60% | 80% | 93% | 28,9 | NA | 31,5 | NA | NA | 18,4 | 28,9 |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,1/0,8/0,1 | 2 | 1 | 1 | 99,8% | 100% | 100% | 100% | 100% | 97% | 33,2 | NA | NA | NA | NA | NA | 33,2 |
| ITI-SUPPRESSION 100% | 1 | 2 | 2 | 95,9% | 100% | 100% | 80% | 95% | 96% | 33,5 | NA | NA | 90,5 | 45,3 | 15,1 | 33,5 |
| TV Ug0,6 (6-13-6-13-6) | 1 | 2 | 3 | 96,7% | 100% | 100% | 100% | 98% | 97% | 37,0 | NA | NA | NA | 79,9 | 16,0 | 37,0 |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,8/0,1/0,1 | 2 | 1 | 1 | 99,8% | 100% | 100% | 100% | 100% | 97% | 41,3 | NA | NA | NA | NA | NA | 41,3 |
| BOIS EMISS: 0,9 | 1 | 2 | 5 | 98,8% | 100% | 100% | 100% | 100% | 99% | 62,8 | NA | NA | NA | NA | 49,4 | 62,8 |
| BSOLEIL 16 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 90,8% | 100% | 30% | 60% | 82% | 95% | 64,7 | NA | 55,4 | NA | NA | 43,1 | 64,7 |
| ENCADREMENT 50CM | 1 | 1 | 4 | 95,9% | 100% | 60% | 80% | 91% | 98% | 65,2 | NA | 44,1 | 176,3 | 44,1 | 44,1 | 65,2 |
| METAL EMISS: 0,3 | 1 | 2 | 5 | 99,2% | 100% | 100% | 100% | 100% | 99% | 77,1 | NA | NA | NA | NA | 39,5 | 77,1 |
| BSOLEIL 8 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 94,6% | 100% | 40% | 60% | 89% | 97% | 78,5 | NA | 46,1 | 138,4 | 55,4 | 55,4 | 78,5 |
| PUITS ENTERRES 1 v/h | 1 | 3 | 2 | 99,6% | 100% | 98% | 98% | 98% | 100% | 84,7 | NA | NA | NA | NA | NA | 84,7 |
| PUITS ENTERRES 5 v/h | 1 | 3 | 2 | 99,6% | 100% | 94% | 94% | 99% | 101% | 84,7 | NA | NA | NA | NA | -20,2 | 84,7 |
| BSOLEIL 4 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 97,1% | 100% | 70% | 80% | 95% | 99% | 110,3 | NA | 69,2 | 207,6 | 103,8 | 103,8 | 110,3 |
| VMC 2F Etherm | 1 | 3 | 1 | 97,5% | 100% | 100% | 100% | 100% | 98% | 122,6 | NA | NA | NA | NA | 49,3 | 122,6 |
| ENCADREMENT 1M | 1 | 1 | 4 | 94,2% | 100% | 40% | 60% | 86% | 96% | 137,3 | NA | 86,9 | 260,8 | 86,9 | 86,9 | 137,3 |
| AUGMENT. M.THERM | 3 | 3 | 1 | 99,6% | 100% | 100% | 100% | 100% | 99% | 219,8 | NA | NA | NA | NA | 52,4 | 219,8 |
| ISOL.FORTE 20/30cm | 1 | 2 | 1 | 99,6% | 100% | 100% | 80% | 100% | 100% | 337,1 | NA | NA | 80,4 | NA | NA | 337,1 |
| LAME VENTILÉE | 1 | 2 | 6 | 99,2% | 100% | 100% | 100% | 100% | 99% | 636,3 | NA | NA | NA | NA | 336,4 | 636,3 |
| COMPACT PLEIN PIED | 1 | 2 | 7 | 120,2% | 100% | 100% | 60% | 107% | 153% | -10,0 | NA | NA | 66,0 | -44,0 | -1,5 | bad |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,1/0,1/0,8 | 2 | 1 | 1 | 100,3% | 100% | 100% | 100% | 100% | 101% | -25,5 | NA | NA | NA | NA | NA | bad |
| FREE COOLING 15m3/h | 3 | 1 | 2 | 100,7% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 106,8% | 100,0% | -215,2 | NA | NA | NA | -31,1 | NA | bad |
| M. THERM. AMPLIFIEx50 | 3 | 3 | 1 | 101,3% | 100,0% | 30,0% | 60,0% | 97,7% | 103,5% | -130,3 | NA | 16,0 | 55,9 | 111,8 | -18,6 | bad |
| PAROIS INT BOIS | 6 | 3 | 1 | 100,1% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | -1972,6 | NA | NA | NA | NA | NA | bad |
| 10% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | 83,7% | 100% | 30% | 60% | 73% | 88% | -23,8 | NA | -36,2 | -126,6 | -21,1 | -12,7 | good |
| 20% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | 91,6% | 100% | 30% | 60% | 86% | 95% | -22,0 | NA | -17,1 | -59,8 | -19,9 | -13,3 | good |

*Figure 5-2 Classement des actions en fonction du temps de retour sur la performance annuelle*

2- Réduction des fuites non maîtrisées par les infiltrations : les résultats d'amélioration de la réponse de la maison sont importants même avec une réduction moyenne des infiltrations (5 v/h à 50 ba) et très importants avec une maison aux performances de l'enveloppe passives ( 0,6 v/h à 50 ba)

3- Isolation des planchers bas du RdC.
4- Réduction des ouvertures de la façade
5- Vitrage solaire dans les menuiseries
6- Usage des ventilateurs intérieurs pour le confort de l'utilisateur
7- Protection extérieure par brises-soleil dense
8- Rideau réfléchissant intérieur
9- Suppression des ponts thermiques
10- Utilisation de triple vitrage
11- Installation d'une ventilation mécanique double flux avec échangeur thermique
12- Bardage extérieur en bois avec une lame d'air ventilée

La Figure 5-3 représente un schéma visuel de ce qui symbolise ces actions. Ainsi selon ce méthode la maison proposée est entouré de zones d'ombres, de végétation ou d'eau pour faire descendre la température de l'extérieur, l'ouvrage sera en maçonnerie ou matériaux apportant une masse thermique moyenne-haute avec une isolation thermique par l'extérieur, ce qui améliore la masse thermique déjà apporté en grand partie par les planchers et supprime les ponts thermiques de l'enveloppe. La façade aura une lame d'air ventilé en bois de préférence devant le pare-vapeur et l'isolation . La maison devra avoir une excellente étanchéité à l'air, pare-vapeur par l'extérieur, et éviter ainsi les fuites convectives infligées a tout heure par la pression du vent extérieur. Le plancher bas du RdC de la maison devra être isolé. Le pourcentage des ouvertures en façade sera faible tout en créant toutes les ouvertures que amènent de la lumière naturelle dans les pièces. Comme protection solaire, les verres a forte protection solaire G seront une option plus efficace que les brises-soleil, sauf que nous avons déjà réduit le pourcentage des ouvertures, et que une réduction supplémentaire par les vitrages par une G bas, n'est pas peut être souhaitable d'un point de vue architecturale. En tout cas on devra choisir par des méthodes plus poussées autour le la lumière naturelle, l'utilisation du triple vitrage isolant dans les menuiseries n'est pas incompatible avec les réflexions antérieures et donc il sera aussi préconisé. En cas d'utilisation de brises-soleils, à l'intérieur un rideau réfléchissant sera présent pour bloquer davantage les apports solaires des moments ou les brises-soleil ne suffissent pas a bloquer l'entrée des rayons du soleil. Un renouvellement d'air intérieur par double flux sera installée pour maîtriser les débits et récupérer la fraîcheur de l'air intérieur

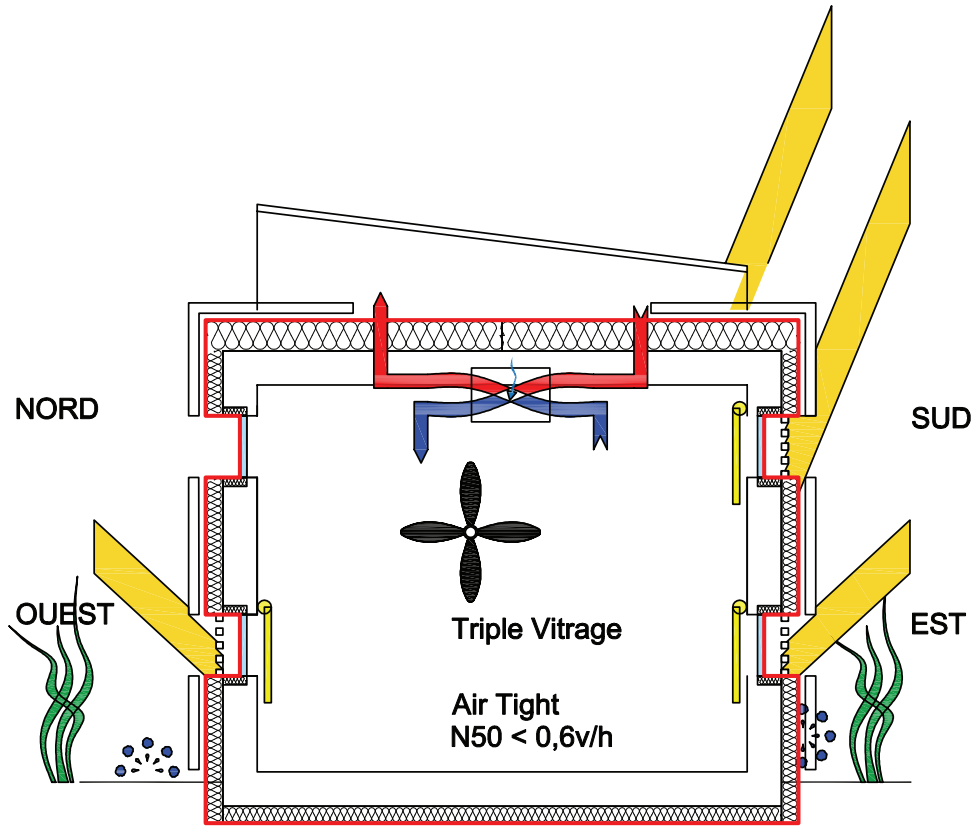



*Figure 5-3 Schéma de la maison efficace dans un climat spécifique : Dubaï*

### 5-1-1-2 Modèle selon le temps de retour annuel pour le cas précis d'une ville : Dubaï

Si nous regardons maintenant les actions annuelles qui ont le temps de retour le plus intéressant et qui ne seraient faites que par intérêt économique direct. Le classement n'est pas du tout le même (Figure 5-2). Ces actions sont les suivantes :

1- La réduction de la surface vitrée est une action du type «bonne». Il faut la choisir d'emblé.

2- Suppression des auvents de protection solaire, et notamment en façade E et O, car l'efficacité est très basse et le coût de leur suppression génère un grand apport financier. Cette action nocive pour la consommation, nous la regretterions après 545 ans d'utilisation de la maison. Nous pourrions aussi supprimer les rideaux tout en laissant les auvents, et regretter après 105 ans d'utilisation, et en dernier option nous pourrions supprimer les auvents et les rideaux et le regretter après 65 ans

3- Ne pas se préoccuper de comment la maison se ventile convenablement, et regretter seulement après 30 ans d'utilisation.

4- Économiser avec une isolation faible de 5 cm dans les murs et 10 au plafond et regretter en 19 ans, ou ne pas en mettre du tout et regretter après 7 ans

5- Installer des menuiseries en simple vitrage clair et regretter après 14 ans

6- Amélioration des étanchéités a l'air des maison et retour sur l'investissement en 4 mois pour une étanchéité à l'air de 5 v/h a la place de 16 v/h, et en 9 mois pour un étanchéité à l'air de 2 v/h a N50.

7- Réduction de la température extérieur avec un budget raisonnable pour réduire de 2ºC la température extérieure. Les options «gros budget» pour descendre de 5ºC la température ou «petit budget» pour la descendre juste de 1ºC sont moins intéressantes.

8- Installation des ventilateurs de 75 W par tout dans la maison avec l'objectif de faire descendre la sensation de chaleur de 2ºC. Nous trouvons 2,4 ans pour avoir un retour sur l'investissement. Avec un ventilateur moins puissant de 50 W le temps de retour est de 3,1 ans

9 -Isolation du plancher bas du RdC avec un temps de retour de 3,5 ans

10 - Rideaux réfléchissants avec un temps de retour de 3,7 ans.

11- Vitrage au nord : 25 ans

12- Vitrage solaire G<,025 : 27 ans

Le reste des investissements ont des temps trop élevés pour être pris en compte. La Figure 5-4 montre le schéma représentatif de la maison la plus rentable proposée par notre méthode : une maison très proche de ce qui se fait aujourd'hui dans les territoires du Moyen Orient.

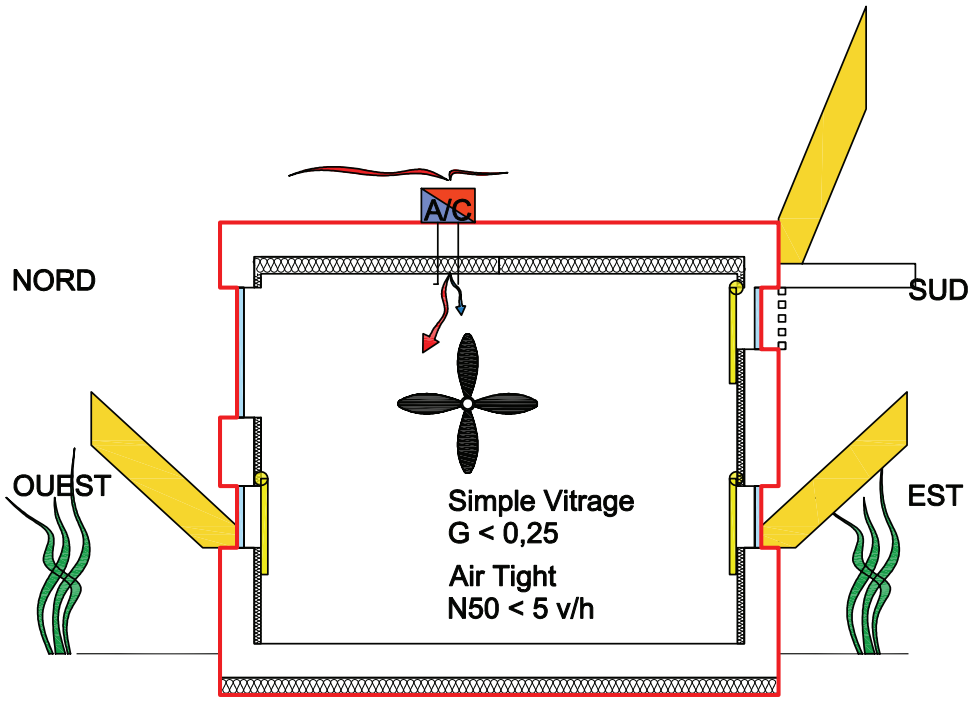



*Figure 5-4 Schéma de la maison rentable dans un climat spécifique : Dubaï*

## 5-1-2 Stratégies et hiérarchisation des actions S2 : jours tempérés et nuits froides

### 5-1-2-1 Selon l'efficacité énergétique

En climat chaud cette saison représente de très faibles consommations et elle laisse une grande liberté de choix architectural. Faire jouer l'inertie du bâtiment, avec une recharge thermique par radiation pendant les heures de soleil et par ventilation dès que nous montons sur le seuil de confort dans la journée. Des que la maison descend au-dessous de la température de confort, la stratégie passe en mode fermeture et utilisation des provisions énergétiques emmagasinées :

01 / Ventilation de recharge : dès que la température extérieure monte au-dessus du seuil de confort, la ventilation transversale pour favoriser une recharge thermique commence. La ventilation transversale s'arrête au moment où la température montante de la maison croise la température descendante de l'extérieur. Ceci arrive en fin d'après-midi lorsque la température extérieure commence à se rafraîchir.

02 / Mode «froid de nuit»: isolation, production de chaleur interne.

Comme le montre le schéma de la Figure 5-5, la maison économe de la saison climatique S2 d'un climat chaud n'a pas besoin de grand investissement rester économique, un peu de masse à l'intérieur pour stocker l'énergie, des murs lourds aussi pour créer un déphasage jour-nuit de l'onde de chaleur, une légère couche d'isolation pour garder la chaleur de la journée a l'intérieur pendant la nuit et une petite unité de chauffage si nécessaire. Les faibles, voire inexistantes, différences entre les actions dans une saison très peu énergivore mettent en évidence que nous aurions pu pousser davantage les actions sur des périodes plus longues qu'une journée type afin de voir mieux les influences de chaque action. La période de une journée n'est pas suffisante comme unité d'analyse. Ainsi nous avons rajoutés deux actions qui ont prouvé leur efficacité dans un climat S2, faible isolation et maîtrise des fuites d'air par une étanchéité à l'air moyenne. Les actions le plus efficaces sont :

1- Inertie thermique moyenne.
2- Isolation thermique pour les nuits froides
3- Maîtrise de l'étanchéité à l'air même avec des valeurs peu performants

### 5-1-2-2 Selon le temps de revient

Dans l'analyse des actions selon leur intérêt économique, les consommations sont tellement basses en comparaison avec le prix des actions que seulement les actions du type «bonne» sont possibles, les autres actions entraînent toutes des Temps de retour loin d'une réalité acceptable même dans les hypothèses de la grande variabilité de la valeur d'un coût de construction.

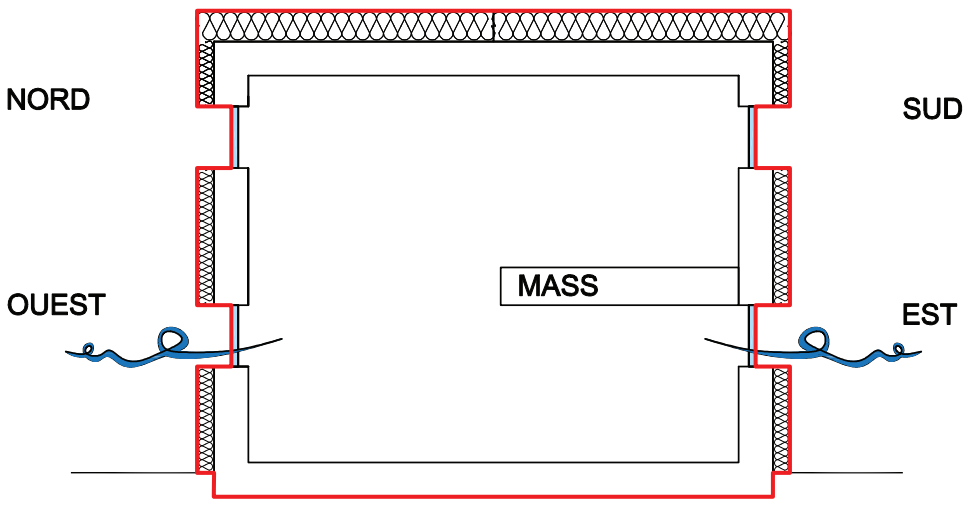



*Figure 5-5 Schéma de la maison efficace en climat permanent du type Saison climatique S2*

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | | | S2 1-janv. kWh/m2.an |
|---|---|---|---|---|
| MODELE DE BASE | 0 | | | |
| 10% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | 100,0% |
| 20% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | 100,0% |
| 100% VITREE NORD | 1 | 1 | 2 | 100,0% |
| ROTATION NNE 22,5º | 1 | 1 | 3 | 100,0% |
| ROTATION NE 45º | 1 | 1 | 3 | 100,0% |
| BSOLEIL 4 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 100,0% |
| BSOLEIL 8 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 100,0% |
| BSOLEIL 16 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 100,0% |
| ENCADREMENT 50CM | 1 | 1 | 4 | 100,0% |
| ENCADREMENT 1M | 1 | 1 | 4 | 100,0% |
| SANS PROTECTION EXT | 1 | 1 | 4 | 100,0% |
| SANS PROTEC EXT + INT | 1 | 1 | 4 | 100,0% |
| NO RIDEAUX | 1 | 1 | 5 | 100,0% |
| RIDEAU REFLECTANT | 1 | 1 | 5 | 100,0% |
| NO ISOLATION | 1 | 2 | 1 | 100,0% |
| ISOLATION FAIBLE 5cm | 1 | 2 | 1 | 100,0% |
| ISOL.FORTE 20/30cm | 1 | 2 | 1 | 100,0% |
| ISOLATION PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | 100,0% |
| ISOL. FORTE+PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | 100,0% |
| ITI-SUPPRESSION 100% | 1 | 2 | 2 | 100,0% |
| SV Ug:5,8 (6mm) | 1 | 2 | 3 | 100,0% |
| TV Ug0,6 (6-13-6-13-6) | 1 | 2 | 3 | 100,0% |
| VITRAGE SOLAIRE G:0,15 TL:0,2 | 1 | 2 | 3 | 100,0% |
| VITRE OBSCURE+CE | 1 | 2 | 3 | 100,0% |
| N50 5 v/h vs 16,5 v/h | 1 | 2 | 4 | 100,0% |
| INFILTR. N50 2 v/h | 1 | 2 | 4 | 100,0% |
| INFILTR. N50 0,6 v/h | 1 | 2 | 4 | 100,0% |
| METAL EMISS: 0,3 | 1 | 2 | 5 | 100,0% |
| BOIS EMISS: 0,9 | 1 | 2 | 5 | 100,0% |
| LAME VENTILÉE | 1 | 2 | 6 | 100,0% |
| COMPACT PLEIN PIED | 1 | 2 | 7 | 100,0% |
| VMC 2F Etherm | 1 | 3 | 1 | 100,0% |
| PUITS ENTERRES 1 v/h | 1 | 3 | 2 | 100,0% |
| PUITS ENTERRES 5 v/h | 1 | 3 | 2 | 100,0% |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,8/0,1/0,1 | 2 | 1 | 1 | 100,0% |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,1/0,8/0,1 | 2 | 1 | 1 | 100,0% |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,1/0,1/0,8 | 2 | 1 | 1 | 100,0% |
| FREE COOLING 15m3/h | 3 | 1 | 2 | 100,0% |
| NO VENTILATION | 3 | 1 | 1 | 100,0% |
| AUGMENT. M.THERM | 3 | 3 | 1 | 100,0% |
| M. THERM. AMPLIFIEx50 | 3 | 3 | 1 | 100,0% |
| EXTRACT.S/TOIT RAD | 4 | 2 | 1 | 100,0% |
| DELTA T = -1ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 100,0% |
| DELTA T = -2ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 100,0% |
| DELTA T = -5ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 100,0% |
| VENTIL.50W ( -1ºC) | 6 | 1 | 1 | 100,0% |
| VENTIL. 75W (-2ºC) | 6 | 1 | 1 | 100,0% |
| PAROIS INT BOIS | 6 | 3 | 1 | 100,0% |
| RADIANT COOLING | 3 | 2 | 1 | 133,3% |
| DIMINUT. M.THERM | 3 | 3 | 1 | 166,7% |
| Tmax 23ºC INT | 6 | 1 | 2 | 466,7% |
| UNITÉ EXT. ADIAB. | 4 | 1 | 1 | x |

*Figure 5-6 Classement des actions en fonction de leur efficacité énergétique pendant une journée type de la saison climatique S2*

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | | | S2 1-janv. années |
|---|---|---|---|---|
| MODELE DE BASE | 0 | | | 0 |
| DIMINUT. M.THERM | 3 | 3 | 1 | -53,0 |
| Tmax 23ºC INT | 6 | 1 | 2 | -1,9 |
| RADIANT COOLING | 3 | 2 | 1 | bad |
| 10% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | good |
| 20% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | good |
| SANS PROTECTION EXT | 1 | 1 | 4 | good |
| SANS PROTEC EXT + INT | 1 | 1 | 4 | good |
| NO RIDEAUX | 1 | 1 | 5 | good |
| NO ISOLATION | 1 | 2 | 1 | good |
| ISOLATION FAIBLE 5cm | 1 | 2 | 1 | good |
| SV Ug:5,8 (6mm) | 1 | 2 | 3 | good |
| NO VENTILATION | 3 | 1 | 1 | good |
| ROTATION NNE 22,5º | 1 | 1 | 3 | good |
| ROTATION NE 45º | 1 | 1 | 3 | good |
| INFILTR. N50 0,6 v/h | 1 | 2 | 4 | NA |
| UNITÉ EXT. ADIAB. | 4 | 1 | 1 | NA |
| EXTRACT.S/TOIT RAD | 4 | 2 | 1 | NA |
| 100% VITREE NORD | 1 | 1 | 2 | NA |
| BSOLEIL 4 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | NA |
| BSOLEIL 8 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | NA |
| BSOLEIL 16 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | NA |
| ENCADREMENT 50CM | 1 | 1 | 4 | NA |
| ENCADREMENT 1M | 1 | 1 | 4 | NA |
| RIDEAU REFLECTANT | 1 | 1 | 5 | NA |
| ISOL.FORTE 20/30cm | 1 | 2 | 1 | NA |
| ISOLATION PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | NA |
| ISOL. FORTE+PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | NA |
| ITI-SUPPRESSION 100% | 1 | 2 | 2 | NA |
| TV Ug0,6 (6-13-6-13-6) | 1 | 2 | 3 | NA |
| VITRAGE SOLAIRE G:0,15 TL:0,2 | 1 | 2 | 3 | NA |
| VITRE OBSCURE+CE | 1 | 2 | 3 | NA |
| N50 5 v/h vs 16,5 v/h | 1 | 2 | 4 | NA |
| INFILTR. N50 2 v/h | 1 | 2 | 4 | NA |
| METAL EMISS: 0,3 | 1 | 2 | 5 | NA |
| BOIS EMISS: 0,9 | 1 | 2 | 5 | NA |
| LAME VENTILÉE | 1 | 2 | 6 | NA |
| COMPACT PLEIN PIED | 1 | 2 | 7 | NA |
| VMC 2F Etherm | 1 | 3 | 1 | NA |
| PUITS ENTERRES 1 v/h | 1 | 3 | 2 | NA |
| PUITS ENTERRES 5 v/h | 1 | 3 | 2 | NA |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,8/0,1/0,1 | 2 | 1 | 1 | NA |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,1/0,8/0,1 | 2 | 1 | 1 | NA |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,1/0,1/0,8 | 2 | 1 | 1 | NA |
| FREE COOLING 15m3/h | 3 | 1 | 2 | NA |
| AUGMENT. M.THERM | 3 | 3 | 1 | NA |
| M. THERM. AMPLIFIEx50 | 3 | 3 | 1 | NA |
| DELTA T = -1ºC EXT | 5 | 4 | 1 | NA |
| DELTA T = -2ºC EXT | 5 | 4 | 1 | NA |
| DELTA T = -5ºC EXT | 5 | 4 | 1 | NA |
| VENTIL.50W ( -1ºC) | 6 | 1 | 1 | NA |
| VENTIL. 75W (-2ºC) | 6 | 1 | 1 | NA |
| PAROIS INT BOIS | 6 | 3 | 1 | NA |

*Figure 5-7 Classement des actions en fonction de leur rentabilité pendant une journée type de la saison climatique S2. (NA : sans influence significative)*

## 5-1-3 Stratégies et hiérarchisation des actions S3 : jours tempérés et nuits tempérées

### 5-1-3-1 Selon l'efficacité énergétique

Toute la stratégie est basée sur la ventilation transversale et la protection solaire des ouvertures.

La classification des actions par leurs performances annuelles est montrée dans la Figure 5-9 selon un critére de efficacité pure et par la Figure 5-10 selon le critére de temps de revient. Il en ressort que pour une saison, type S3, où la température extérieure reste toujours dans les fuseaux des températures minimale et maximale de confort, les actions produisent rapidement des économies très importantes, même si ces améliorations ne représentent en termes absolus de kWh que des toutes petites variations. Les actions ainsi les plus efficaces sont :

1- La réduction de la température extérieure par ombrage, humidification, ou végétalisation.
2- Réduction des ouvertures de la façade
3. Augmentation substantielle de la masse thermique
4- Protection extérieure par brises-soleil dense ou par un vitrage avec une facteur solaire bas
5- Augmentation des ouvertures vers le nord
6- Ventilateurs intérieurs
7- Rideaux réfléchissants

La Figure 5-8 représente une schéma de ces actions.

Des actions a ne pas employer sous peine de augmenter fortement les consommations:
- Ne pas favoriser la ventilation transversale

### 5-1-3-2 Selon le temps de revient

La construction en saison S3 du point de vue de la rentabilité économique, la maison favorise la réduction des ouvertures vers l'extérieur, et compte tenu que 10% ou 20% ne montrent pas de grandes variabilités, ainsi nous choisirons bien évidement le choix 10% qui nous génère des économies plus importantes par la suppression des surfaces vitrées et leur remplacement par de parois opaques. L'influence du soleil sur la maison est très faible et toutes les mesures de suppression qui génèrent des économies sont bienvenues: suppression de la protection par l'extérieur. La suppression des rideaux intérieures simples semblent améliorer, même faiblement, la performance énergétique, ainsi ils sont supprimés d'office comme option «bonne».

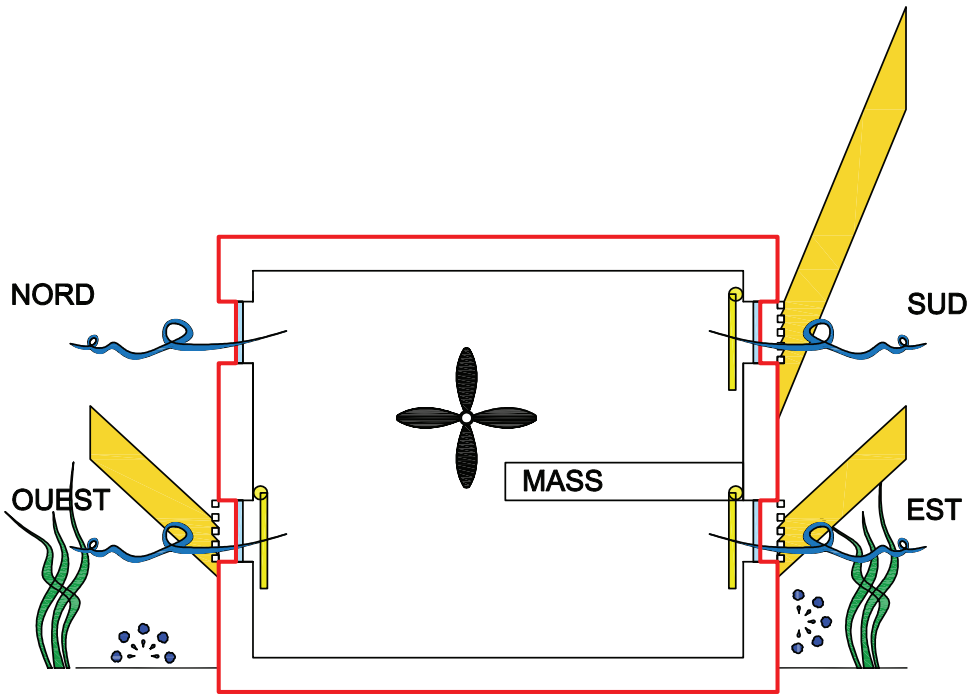



*Figure 5-8 Schéma de la maison efficace en climat permanent du type Saison climatique S3*

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | | | S3 30-nov. kWh/m2J |
|---|---|---|---|---|
| MODELE DE BASE | 0 | | | 100% |
| 10% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | 30,0% |
| 20% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | 30,0% |
| BSOLEIL 16 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 30,0% |
| VITRAGE SOLAIRE G:0,15 TL:0,2 | 1 | 2 | 3 | 30,0% |
| VITRE OBSCURE+CE | 1 | 2 | 3 | 30,0% |
| M. THERM. AMPLIFIEx50 | 3 | 3 | 1 | 30,0% |
| DELTA T = -2ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 30,0% |
| DELTA T = -5ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 30,0% |
| VENTIL. 75W (-2ºC) | 6 | 1 | 1 | 30,0% |
| BSOLEIL 8 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 40,0% |
| ENCADREMENT 1M | 1 | 1 | 4 | 40,0% |
| 100% VITREE NORD | 1 | 1 | 2 | 50,0% |
| ROTATION NNE 22,5º | 1 | 1 | 3 | 100,0% |
| ROTATION NE 45º | 1 | 1 | 3 | 100,0% |
| ENCADREMENT 50CM | 1 | 1 | 4 | 60,0% |
| DELTA T = -1ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 60,0% |
| VENTIL.50W ( -1ºC) | 6 | 1 | 1 | 60,0% |
| BSOLEIL 4 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 70,0% |
| RIDEAU REFLECTANT | 1 | 1 | 5 | 70,0% |
| NO RIDEAUX | 1 | 1 | 5 | 90,0% |
| N50 5 v/h vs 16,5 v/h | 1 | 2 | 4 | 90,0% |
| INFILTR. N50 2 v/h | 1 | 2 | 4 | 90,0% |
| INFILTR. N50 0,6 v/h | 1 | 2 | 4 | 90,0% |
| RADIANT COOLING | 3 | 2 | 1 | 90,0% |
| EXTRACT.S/TOIT RAD | 4 | 2 | 1 | 90,0% |
| PUITS ENTERRES 5 v/h | 1 | 3 | 2 | 94,0% |
| PUITS ENTERRES 1 v/h | 1 | 3 | 2 | 98,0% |
| SANS PROTECTION EXT | 1 | 1 | 4 | 100,0% |
| NO ISOLATION | 1 | 2 | 1 | 100,0% |
| ISOLATION FAIBLE 5cm | 1 | 2 | 1 | 100,0% |
| ISOL.FORTE 20/30cm | 1 | 2 | 1 | 100,0% |
| ISOLATION PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | 100,0% |
| ISOL. FORTE+PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | 100,0% |
| ITI-SUPPRESSION 100% | 1 | 2 | 2 | 100,0% |
| TV Ug0,6 (6-13-6-13-6) | 1 | 2 | 3 | 100,0% |
| METAL EMISS: 0,3 | 1 | 2 | 5 | 100,0% |
| BOIS EMISS: 0,9 | 1 | 2 | 5 | 100,0% |
| LAME VENTILÉE | 1 | 2 | 6 | 100,0% |
| COMPACT PLEIN PIED | 1 | 2 | 7 | 100,0% |
| VMC 2F Etherm | 1 | 3 | 1 | 100,0% |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,8/0,1/0,1 | 2 | 1 | 1 | 100,0% |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,1/0,8/0,1 | 2 | 1 | 1 | 100,0% |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,1/0,1/0,8 | 2 | 1 | 1 | 100,0% |
| FREE COOLING 15m3/h | 3 | 1 | 2 | 100,0% |
| AUGMENT. M.THERM | 3 | 3 | 1 | 100,0% |
| PAROIS INT BOIS | 6 | 3 | 1 | 100,0% |
| SANS PROTEC EXT + INT | 1 | 1 | 4 | 110,0% |
| SV Ug:5,8 (6mm) | 1 | 2 | 3 | 140,0% |
| NO VENTILATION | 3 | 1 | 1 | 140,0% |
| DIMINUT. M.THERM | 3 | 3 | 1 | 150,0% |
| Tmax 23ºC INT | 6 | 1 | 2 | 400,0% |
| UNITÉ EXT. ADIAB. | 4 | 1 | 1 | x |

*Figure 5-9 Classement des actions en fonction de leur efficacité énergétique pendant une journée type de la saison climatique S3*

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | | | S3 30-nov. années |
|---|---|---|---|---|
| MODELE DE BASE | 0 | | | 0 |
| SANS PROTEC EXT + INT | 1 | 1 | 4 | -259,2 |
| DIMINUT. M.THERM | 3 | 3 | 1 | -21,2 |
| SV Ug:5,8 (6mm) | 1 | 2 | 3 | -17,9 |
| NO VENTILATION | 3 | 1 | 1 | -12,7 |
| Tmax 23ºC INT | 6 | 1 | 2 | -0,7 |
| DELTA T = -1ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 1,3 |
| DELTA T = -2ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 1,5 |
| DELTA T = -5ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 4,4 |
| VENTIL. 75W (-2ºC) | 6 | 1 | 1 | 4,5 |
| VENTIL.50W ( -1ºC) | 6 | 1 | 1 | 4,9 |
| RIDEAU REFLECTANT | 1 | 1 | 5 | 6,0 |
| ROTATION NNE 22,5º | 1 | 1 | 3 | 10,2 |
| INFILTR. N50 2 v/h | 1 | 2 | 4 | 14,4 |
| 100% VITREE NORD | 1 | 1 | 2 | 15,2 |
| M. THERM. AMPLIFIEx50 | 3 | 3 | 1 | 16,0 |
| ROTATION NE 45º | 1 | 1 | 3 | 20,4 |
| VITRAGE SOLAIRE G:0,15 TL:0,2 | 1 | 2 | 3 | 31,5 |
| VITRE OBSCURE+CE | 1 | 2 | 3 | 31,5 |
| INFILTR. N50 0,6 v/h | 1 | 2 | 4 | 32,4 |
| ENCADREMENT 50CM | 1 | 1 | 4 | 44,1 |
| BSOLEIL 8 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 46,1 |
| BSOLEIL 16 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 55,4 |
| BSOLEIL 4 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 69,2 |
| ENCADREMENT 1M | 1 | 1 | 4 | 86,9 |
| 10% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | good |
| 20% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | good |
| SANS PROTECTION EXT | 1 | 1 | 4 | good |
| NO RIDEAUX | 1 | 1 | 5 | good |
| NO ISOLATION | 1 | 2 | 1 | good |
| ISOLATION FAIBLE 5cm | 1 | 2 | 1 | good |
| UNITÉ EXT. ADIAB. | 4 | 1 | 1 | good |
| EXTRACT.S/TOIT RAD | 4 | 2 | 1 | good |
| ISOL.FORTE 20/30cm | 1 | 2 | 1 | NA |
| ISOLATION PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | NA |
| ISOL. FORTE+PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | NA |
| ITI-SUPPRESSION 100% | 1 | 2 | 2 | NA |
| TV Ug0,6 (6-13-6-13-6) | 1 | 2 | 3 | NA |
| N50 5 v/h vs 16,5 v/h | 1 | 2 | 4 | NA |
| METAL EMISS: 0,3 | 1 | 2 | 5 | NA |
| BOIS EMISS: 0,9 | 1 | 2 | 5 | NA |
| LAME VENTILÉE | 1 | 2 | 6 | NA |
| COMPACT PLEIN PIED | 1 | 2 | 7 | NA |
| VMC 2F Etherm | 1 | 3 | 1 | NA |
| PUITS ENTERRES 1 v/h | 1 | 3 | 2 | NA |
| PUITS ENTERRES 5 v/h | 1 | 3 | 2 | NA |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,8/0,1/0,1 | 2 | 1 | 1 | NA |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,1/0,8/0,1 | 2 | 1 | 1 | NA |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,1/0,1/0,8 | 2 | 1 | 1 | NA |
| FREE COOLING 15m3/h | 3 | 1 | 2 | NA |
| RADIANT COOLING | 3 | 2 | 1 | NA |
| AUGMENT. M.THERM | 3 | 3 | 1 | NA |
| PAROIS INT BOIS | 6 | 3 | 1 | NA |

*Figure 5-10 Classement des actions en fonction de leur rentabilité pendant une journée type de la saison climatique S3. (NA : sans influence significative)*

## 5-1-4 Stratégies et hiérarchisation des actions S4 : jours chauds et nuits froides

### 5-1-4-1 Selon l'efficacité énergétique

La stratégie thermique est basée sur la ventilation transversale, la recharge thermique à l'aide de la masse du bâtiment et la performance de son enveloppe. Le comportement d'une journée type et la stratégie à pousser peut se résumer ainsi :

01 / Ventilation de recharge thermique : Dès que la température monte au-dessus du seuil de confort, 26ºC, la maison doit pouvoir recharger thermiquement une partie de sa «masse chaude» comme provision pour les moments froids de la nuit. Cette recharge sélective ne doit pas se mélanger avec la masse habitée de la maison qui doit encore endurer la chaleur de la journée. Elle peut se situer dans les combles de la maison thermiquement séparée de la partie habitée. Cette recharge peut se faire par ventilation transversale.

02 / En parallèle, la partie habitée de la maison a sa masse thermique à une température proche du seuil bas du confort, 19ºC. Tout en restant fermée, elle doit être capable de faire face à la montée de la température et le rayonnement extérieur par son isolation et ses protections extérieures. Elle ne dispose que d'une marge de 7ºC pour passer la journée sans dépasser les 26ºC. Elle peut en cas de besoin faire appel par ventilation à la «masse froide» intérieure qui a été refroidie pendant la nuit pour endurer la chaleur de la journée. Cette «masse froide» peut se situer dans le sous-bassement de la maison, thermiquement séparée de la partie habitée.

03 / Ventilation de décharge thermique : en fin de journée la température extérieure est froide, en-dessous du seuil de confort : une ventilation transversale permet de décharger au maximum la «masse froide» pour que à la fin de la nuit la maison soit prête a endurer le reste de la journée chaude.

04/ En parallèle la maison garde une température tempéré et tout en restant fermée, elle doit être capable de faire face à la descente de la température par son isolation thermique, il est possible de chauffer la maison la nuit si nécessaire, avec de la chaleur stockée dans la «masse chaude» de la maison pendant la journée.

Cette schéma de «masse froide» et «masse chaude», peut se simplifier en créant une seule masse thermique dont son déphasage entre la recharge et la restitution aie une durée de 8 h environs. La même masse thermique sert comme masse chaude la nuit et puis comme masse froide le jour. La Figure 5-11 représente une schéma des actions le plus efficaces, selon les tableaux des Figures 5-12 et 5-13, qui sont :

1- La réduction de la température extérieure par ombrage, humidification, ou végétalisation.
2- Réduction des ouvertures de la façade
3. Augmentation substantielle de la masse thermique
4- Protection extérieure par brises-soleil de densité moyenne
5- Rideaux réfléchissants
6- Ventilateurs intérieurs
7- Augmentation des ouvertures vers le nord
8- Maîtrise de l'étanchéité à l'air même avec des valeurs peu performantes

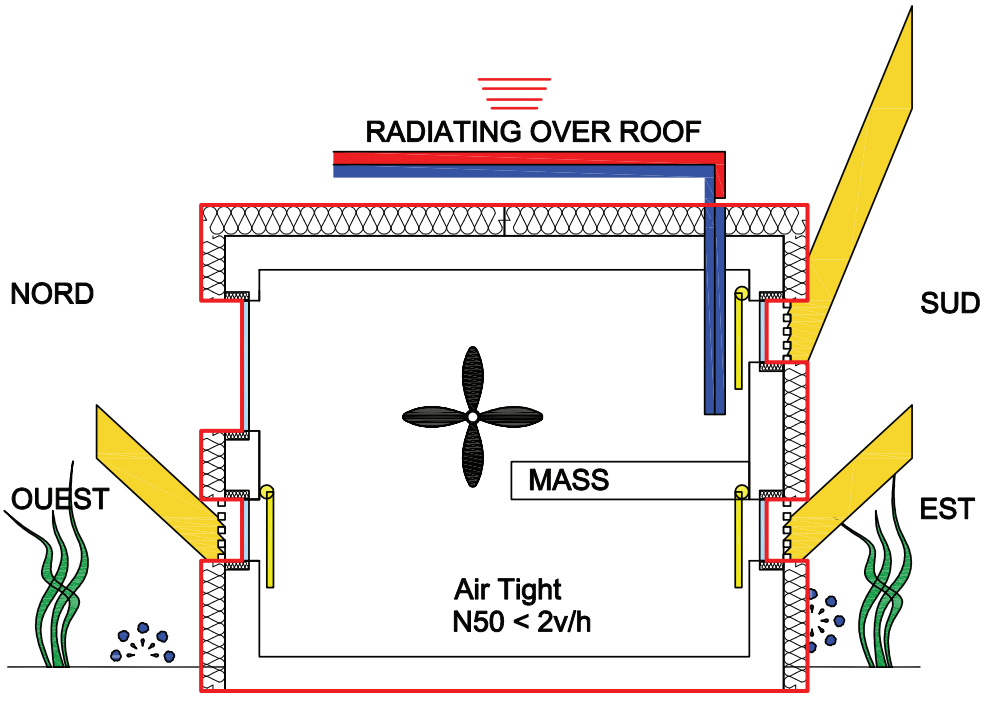



*Figure 5-11 Schéma de la maison efficace en climat permanent du type Saison climatique S4*

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | | | S4 19-févr. kWh/m2J |
|---|---|---|---|---|
| MODELE DE BASE | 0 | | | 100% |
| 10% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | 60,0% |
| 20% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | 60,0% |
| BSOLEIL 8 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 60,0% |
| BSOLEIL 16 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 60,0% |
| ENCADREMENT 1M | 1 | 1 | 4 | 60,0% |
| RIDEAU REFLECTANT | 1 | 1 | 5 | 60,0% |
| VITRAGE SOLAIRE G:0,15 TL:0,2 | 1 | 2 | 3 | 60,0% |
| VITRE OBSCURE+CE | 1 | 2 | 3 | 60,0% |
| COMPACT PLEIN PIED | 1 | 2 | 7 | 60,0% |
| M. THERM. AMPLIFIEx50 | 3 | 3 | 1 | 60,0% |
| DELTA T = -1ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 60,0% |
| DELTA T = -2ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 60,0% |
| DELTA T = -5ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 60,0% |
| VENTIL.50W ( -1ºC) | 6 | 1 | 1 | 60,0% |
| VENTIL. 75W (-2ºC) | 6 | 1 | 1 | 60,0% |
| 100% VITREE NORD | 1 | 1 | 2 | 80,0% |
| BSOLEIL 4 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 80,0% |
| ENCADREMENT 50CM | 1 | 1 | 4 | 80,0% |
| ISOL.FORTE 20/30cm | 1 | 2 | 1 | 80,0% |
| ITI-SUPPRESSION 100% | 1 | 2 | 2 | 80,0% |
| N50 5 v/h vs 16,5 v/h | 1 | 2 | 4 | 80,0% |
| INFILTR. N50 2 v/h | 1 | 2 | 4 | 80,0% |
| INFILTR. N50 0,6 v/h | 1 | 2 | 4 | 80,0% |
| RADIANT COOLING | 3 | 2 | 1 | 80,0% |
| EXTRACT.S/TOIT RAD | 4 | 2 | 1 | 80,0% |
| PUITS ENTERRES 5 v/h | 1 | 3 | 2 | 94,0% |
| PUITS ENTERRES 1 v/h | 1 | 3 | 2 | 98,0% |
| ROTATION NNE 22,5º | 1 | 1 | 3 | 100,0% |
| ROTATION NE 45º | 1 | 1 | 3 | 100,0% |
| NO RIDEAUX | 1 | 1 | 5 | 100,0% |
| NO ISOLATION | 1 | 2 | 1 | 100,0% |
| ISOLATION FAIBLE 5cm | 1 | 2 | 1 | 100,0% |
| TV Ug0,6 (6-13-6-13-6) | 1 | 2 | 3 | 100,0% |
| METAL EMISS: 0,3 | 1 | 2 | 5 | 100,0% |
| BOIS EMISS: 0,9 | 1 | 2 | 5 | 100,0% |
| LAME VENTILÉE | 1 | 2 | 6 | 100,0% |
| VMC 2F Etherm | 1 | 3 | 1 | 100,0% |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,8/0,1/0,1 | 2 | 1 | 1 | 100,0% |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,1/0,8/0,1 | 2 | 1 | 1 | 100,0% |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,1/0,1/0,8 | 2 | 1 | 1 | 100,0% |
| FREE COOLING 15m3/h | 3 | 1 | 2 | 100,0% |
| NO VENTILATION | 3 | 1 | 1 | 100,0% |
| AUGMENT. M.THERM | 3 | 3 | 1 | 100,0% |
| PAROIS INT BOIS | 6 | 3 | 1 | 100,0% |
| SANS PROTECTION EXT | 1 | 1 | 4 | 102,0% |
| SANS PROTEC EXT + INT | 1 | 1 | 4 | 106,0% |
| SV Ug:5,8 (6mm) | 1 | 2 | 3 | 120,0% |
| ISOLATION PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | 160,0% |
| ISOL. FORTE+PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | 160,0% |
| DIMINUT. M.THERM | 3 | 3 | 1 | 160,0% |
| Tmax 23ºC INT | 6 | 1 | 2 | 560,0% |

*Figure 5-12 Classement des actions en fonction de leur efficacité énergétique pendant une journée type de la saison climatique S3*

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | | | S4 19-févr. années |
|---|---|---|---|---|
| MODELE DE BASE | 0 | | | 0 |
| SV Ug:5,8 (6mm) | 1 | 2 | 3 | -71,6 |
| DIMINUT. M.THERM | 3 | 3 | 1 | -35,3 |
| Tmax 23ºC INT | 6 | 1 | 2 | -0,9 |
| DELTA T = -1ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 2,5 |
| DELTA T = -2ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 5,1 |
| EXTRACT.S/TOIT RAD | 4 | 2 | 1 | 5,1 |
| RIDEAU REFLECTANT | 1 | 1 | 5 | 9,0 |
| VENTIL.50W ( -1ºC) | 6 | 1 | 1 | 9,8 |
| INFILTR. N50 2 v/h | 1 | 2 | 4 | 14,4 |
| DELTA T = -5ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 15,3 |
| VENTIL. 75W (-2ºC) | 6 | 1 | 1 | 15,9 |
| INFILTR. N50 0,6 v/h | 1 | 2 | 4 | 32,4 |
| RADIANT COOLING | 3 | 2 | 1 | 45,9 |
| M. THERM. AMPLIFIEx50 | 3 | 3 | 1 | 55,9 |
| COMPACT PLEIN PIED | 1 | 2 | 7 | 66,0 |
| 100% VITREE NORD | 1 | 1 | 2 | 76,1 |
| ISOL.FORTE 20/30cm | 1 | 2 | 1 | 80,4 |
| ITI-SUPPRESSION 100% | 1 | 2 | 2 | 90,5 |
| VITRAGE SOLAIRE G:0,15 TL:0,2 | 1 | 2 | 3 | 110,2 |
| BSOLEIL 8 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 138,4 |
| ENCADREMENT 50CM | 1 | 1 | 4 | 176,3 |
| BSOLEIL 4 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 207,6 |
| ENCADREMENT 1M | 1 | 1 | 4 | 260,8 |
| ISOLATION PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | bad |
| ISOL. FORTE+PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | bad |
| ROTATION NNE 22,5º | 1 | 1 | 3 | good |
| ROTATION NE 45º | 1 | 1 | 3 | good |
| 10% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | good |
| 20% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | good |
| SANS PROTECTION EXT | 1 | 1 | 4 | good |
| SANS PROTEC EXT + INT | 1 | 1 | 4 | good |
| NO RIDEAUX | 1 | 1 | 5 | good |
| NO ISOLATION | 1 | 2 | 1 | good |
| ISOLATION FAIBLE 5cm | 1 | 2 | 1 | good |
| NO VENTILATION | 3 | 1 | 1 | good |
| UNITÉ EXT. ADIAB. | 4 | 1 | 1 | NA |
| BSOLEIL 16 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | NA |
| TV Ug0,6 (6-13-6-13-6) | 1 | 2 | 3 | NA |
| VITRE OBSCURE+CE | 1 | 2 | 3 | NA |
| N50 5 v/h vs 16,5 v/h | 1 | 2 | 4 | NA |
| METAL EMISS: 0,3 | 1 | 2 | 5 | NA |
| BOIS EMISS: 0,9 | 1 | 2 | 5 | NA |
| LAME VENTILÉE | 1 | 2 | 6 | NA |
| VMC 2F Etherm | 1 | 3 | 1 | NA |
| PUITS ENTERRES 1 v/h | 1 | 3 | 2 | NA |
| PUITS ENTERRES 5 v/h | 1 | 3 | 2 | NA |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,8/0,1/0,1 | 2 | 1 | 1 | NA |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,1/0,8/0,1 | 2 | 1 | 1 | NA |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,1/0,1/0,8 | 2 | 1 | 1 | NA |
| FREE COOLING 15m3/h | 3 | 1 | 2 | NA |
| AUGMENT. M.THERM | 3 | 3 | 1 | NA |
| PAROIS INT BOIS | 6 | 3 | 1 | NA |

*Figure 5-13 Classement des actions en fonction de leur rentabilité pendant une journée type de la saison climatique S3. (NA : sans influence significative)*

9- Suppression des ponts thermiques
10- Isolation forte de l'enveloppe 20-30cm hors plancher bas du RdC
Des actions a ne pas employer sous peine de augmenter fortement les consommations:
-Ne pas isoler le plancher bas du RdC
-Ne pas diminuer la masse thermique

### 5-1-4-1 Selon le temps de revient

La construction en saison S4 en favorisant la rentabilité économies qu'invite à construire une maison avec des espaces extérieurs rafraîchissant, une enveloppe sans isolation et une maîtrise de l'étanchéité à l'air moyenne, une diminution de la masse thermique interne, des rideaux réfléchissants et des ventilateurs.

## 5-1-5 Stratégies et hiérarchisation des actions S5 : jours chauds et nuits tempérées

### 5-1-5-1 Selon l'efficacité énergétique

La stratégie se profile autour de l'usage de l'inertie du bâtiment, avec une décharge thermique par ventilation dès que, le soir, nous descendons sous le seuil de confort thermique. Lorsque la maison monte au-dessus de la température de confort, la stratégie passe en mode «très chaud» et les axes principaux deviennent la protection de l'extérieur. Le comportement d'une journée type S5 et la stratégie pour l'afronter au mieux peut se résumer :

01 / Mode «très chaud» de jour : protection de la chaleur externe, réduction de la chaleur interne et production de froid.

02 / Ventilation de décharge : Dès que la température extérieure descend en dessous du seuil de confort la ventilation transversale pour décharge thermique se mets en place. La ventilation transversale s'arrête au moment où la température descendante de la maison croise la température montante de l'extérieur. Ceci arrive au petit matin lorsque la température extérieure est fraîche mais qu'elle commence à monter au dessus de la température de la maison refroidie pendant la nuit.

03 / Radiation de décharge : en complément a la ventilation la maison peut aussi perdre une partie de sa chaleur par radiation vers la voûte céleste pendant la nuit.

La Figure 5-14 représente une schéma des actions les plus efficaces, selon les tableaux des Figures 5-15 et 5-16, qui sont :

1- La réduction de la température extérieure par ombrage, humidification, ou végétalisation.
2- Ventilateurs intérieurs
3- Réduction des ouvertures de la façade
4- Maîtrise de l'étanchéité à l'air avec des valeurs performantes

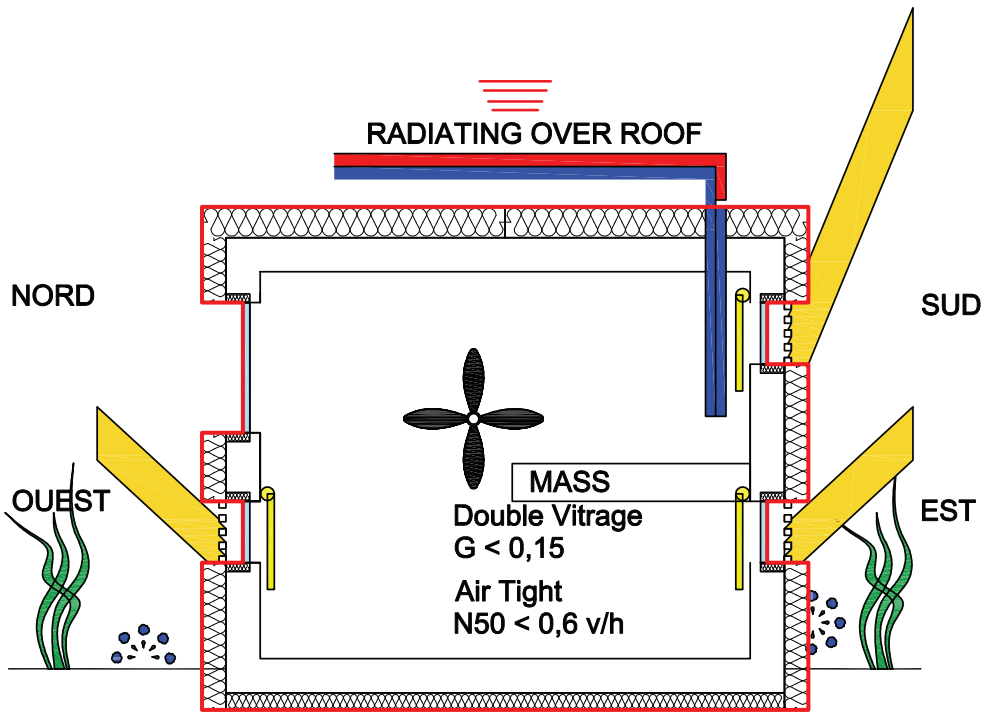



*Figure 5-14 Schéma de la maison efficace en climat permanent du type Saison climatique S5*

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | | | S5 14-avr. kWh/m2J |
|---|---|---|---|---|
| MODELE DE BASE | 0 | | | 100% |
| DELTA T = -5ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 20,5% |
| DELTA T = -2ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 68,2% |
| VENTIL. 75W (-2ºC) | 6 | 1 | 1 | 69,7% |
| 10% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | 72,7% |
| INFILTR. N50 0,6 v/h | 1 | 2 | 4 | 75,0% |
| VITRAGE SOLAIRE G:0,15 TL:0,2 | 1 | 2 | 3 | 77,3% |
| INFILTR. N50 2 v/h | 1 | 2 | 4 | 77,3% |
| VITRE OBSCURE+CE | 1 | 2 | 3 | 79,5% |
| BSOLEIL 16 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 81,8% |
| N50 5 v/h vs 16,5 v/h | 1 | 2 | 4 | 84,1% |
| 20% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | 86,4% |
| ENCADREMENT 1M | 1 | 1 | 4 | 86,4% |
| RIDEAU REFLECTANT | 1 | 1 | 5 | 86,4% |
| BSOLEIL 8 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 88,6% |
| RADIANT COOLING | 3 | 2 | 1 | 88,6% |
| ENCADREMENT 50CM | 1 | 1 | 4 | 90,9% |
| DELTA T = -1ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 90,9% |
| VENTIL.50W ( -1ºC) | 6 | 1 | 1 | 92,0% |
| BSOLEIL 4 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 95,5% |
| ISOL. FORTE+PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | 95,5% |
| ITI-SUPPRESSION 100% | 1 | 2 | 2 | 95,5% |
| EXTRACT.S/TOIT RAD | 4 | 2 | 1 | 95,5% |
| 100% VITREE NORD | 1 | 1 | 2 | 97,7% |
| ISOLATION PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | 97,7% |
| TV Ug0,6 (6-13-6-13-6) | 1 | 2 | 3 | 97,7% |
| PUITS ENTERRES 1 v/h | 1 | 3 | 2 | 97,7% |
| M. THERM. AMPLIFIEx50 | 3 | 3 | 1 | 97,7% |
| PUITS ENTERRES 5 v/h | 1 | 3 | 2 | 98,9% |
| ROTATION NNE 22,5º | 1 | 1 | 3 | 100,0% |
| ISOL.FORTE 20/30cm | 1 | 2 | 1 | 100,0% |
| METAL EMISS: 0,3 | 1 | 2 | 5 | 100,0% |
| BOIS EMISS: 0,9 | 1 | 2 | 5 | 100,0% |
| LAME VENTILÉE | 1 | 2 | 6 | 100,0% |
| VMC 2F Etherm | 1 | 3 | 1 | 100,0% |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,8/0,1/0,1 | 2 | 1 | 1 | 100,0% |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,1/0,8/0,1 | 2 | 1 | 1 | 100,0% |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,1/0,1/0,8 | 2 | 1 | 1 | 100,0% |
| AUGMENT. M.THERM | 3 | 3 | 1 | 100,0% |
| PAROIS INT BOIS | 6 | 3 | 1 | 100,0% |
| SANS PROTECTION EXT | 1 | 1 | 4 | 102,3% |
| NO RIDEAUX | 1 | 1 | 5 | 104,5% |
| SANS PROTEC EXT + INT | 1 | 1 | 4 | 106,8% |
| ISOLATION FAIBLE 5cm | 1 | 2 | 1 | 106,8% |
| COMPACT PLEIN PIED | 1 | 2 | 7 | 106,8% |
| FREE COOLING 15m3/h | 3 | 1 | 2 | 106,8% |
| DIMINUT. M.THERM | 3 | 3 | 1 | 106,8% |
| ROTATION NE 45º | 1 | 1 | 3 | 109,3% |
| SV Ug:5,8 (6mm) | 1 | 2 | 3 | 111,4% |
| NO VENTILATION | 3 | 1 | 1 | 118,2% |
| NO ISOLATION | 1 | 2 | 1 | 143,2% |
| Tmax 23ºC INT | 6 | 1 | 2 | 252,3% |

*Figure 5-15 Classement des actions en fonction de leur efficacité énergétique pendant une journée type de la saison climatique S3*

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | | | S5 14-avr. années |
|---|---|---|---|---|
| MODELE DE BASE | 0 | | | 0 |
| NO RIDEAUX | 1 | 1 | 5 | -45,2 |
| DIMINUT. M.THERM | 3 | 3 | 1 | -35,3 |
| ROTATION NE 45º | 1 | 1 | 3 | -25,5 |
| ISOLATION FAIBLE 5cm | 1 | 2 | 1 | -20,2 |
| SV Ug:5,8 (6mm) | 1 | 2 | 3 | -14,3 |
| NO ISOLATION | 1 | 2 | 1 | -6,4 |
| NO VENTILATION | 3 | 1 | 1 | -6,4 |
| Tmax 23ºC INT | 6 | 1 | 2 | -0,3 |
| DELTA T = -2ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 0,7 |
| DELTA T = -5ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 0,9 |
| DELTA T = -1ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 1,3 |
| INFILTR. N50 2 v/h | 1 | 2 | 4 | 1,4 |
| VENTIL. 75W (-2ºC) | 6 | 1 | 1 | 2,4 |
| EXTRACT.S/TOIT RAD | 4 | 2 | 1 | 2,5 |
| INFILTR. N50 0,6 v/h | 1 | 2 | 4 | 2,9 |
| RIDEAU REFLECTANT | 1 | 1 | 5 | 3,0 |
| VENTIL.50W ( -1ºC) | 6 | 1 | 1 | 5,5 |
| RADIANT COOLING | 3 | 2 | 1 | 9,2 |
| VITRAGE SOLAIRE G:0,15 TL:0,2 | 1 | 2 | 3 | 22,0 |
| ISOLATION PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | 42,3 |
| ENCADREMENT 50CM | 1 | 1 | 4 | 44,1 |
| ITI-SUPPRESSION 100% | 1 | 2 | 2 | 45,3 |
| BSOLEIL 8 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 55,4 |
| ISOL. FORTE+PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | 61,3 |
| 100% VITREE NORD | 1 | 1 | 2 | 76,1 |
| TV Ug0,6 (6-13-6-13-6) | 1 | 2 | 3 | 79,9 |
| ENCADREMENT 1M | 1 | 1 | 4 | 86,9 |
| BSOLEIL 4 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 103,8 |
| M. THERM. AMPLIFIEx50 | 3 | 3 | 1 | 111,8 |
| COMPACT PLEIN PIED | 1 | 2 | 7 | bad |
| FREE COOLING 15m3/h | 3 | 1 | 2 | bad |
| ROTATION NNE 22,5º | 1 | 1 | 3 | good |
| 10% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | good |
| 20% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | good |
| SANS PROTECTION EXT | 1 | 1 | 4 | good |
| SANS PROTEC EXT + INT | 1 | 1 | 4 | good |
| UNITÉ EXT. ADIAB. | 4 | 1 | 1 | NA |
| BSOLEIL 16 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | NA |
| ISOL.FORTE 20/30cm | 1 | 2 | 1 | NA |
| VITRE OBSCURE+CE | 1 | 2 | 3 | NA |
| N50 5 v/h vs 16,5 v/h | 1 | 2 | 4 | NA |
| METAL EMISS: 0,3 | 1 | 2 | 5 | NA |
| BOIS EMISS: 0,9 | 1 | 2 | 5 | NA |
| LAME VENTILÉE | 1 | 2 | 6 | NA |
| VMC 2F Etherm | 1 | 3 | 1 | NA |
| PUITS ENTERRES 1 v/h | 1 | 3 | 2 | NA |
| PUITS ENTERRES 5 v/h | 1 | 3 | 2 | NA |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,8/0,1/0,1 | 2 | 1 | 1 | NA |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,1/0,8/0,1 | 2 | 1 | 1 | NA |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,1/0,1/0,8 | 2 | 1 | 1 | NA |
| AUGMENT. M.THERM | 3 | 3 | 1 | NA |
| PAROIS INT BOIS | 6 | 3 | 1 | NA |

*Figure 5-16 Classement des actions en fonction de leur rentabilité pendant une journée type de la saison climatique S3. (NA : sans influence significative)*

5- Vitrages solaires G<0,25
6- Protection extérieure par encadrement de 1 m ou par brises-soleil de densité moyenne
7- Décharge nocturne radiative
8- Rideaux réfléchissants
9- Suppression des ponts thermiques
10- Isolation forte de l'enveloppe 20-30cm et du plancher bas du RdC
11- Augmentation substantielle de la masse thermique
12- Vitrée nord de préférence

Des actions a ne pas employer sous peine de augmenter fortement les consommations :
-Ne pas isoler : murs et simple vitrage
-Ne pas favoriser la ventilation transversale
-Ne pas diminuer la masse thermique
-Faible compacité

### 5-1-5-2 Selon le temps de retour

Du point de vue de la rentabilité économique de notre modèle, il ressort des résultats qui vont contre tout ce que nous pourrions prescrire comme architecte : supprimer les casquettes sur les fenêtres du modèle de base et ne rien mettre à la place est une action intéressante (action a regretter après 168 ans) à cause des prix élevés initiale des casquette, la mesure de remplacer une isolation de 100 mm par une de 50 mm est regrettée après 7 ans, la maîtrise des infiltrations, l'isolation du plancher bas du RdC, l'installation de rideaux réfléchissants et tous les moyens pour rafraîchir la température périphérique, sont des mesures avec un temps de retour de moins de 5 ans, qui viennent compléter celles qui sont intéressantes des le début, type «bonne», comme la réduction de la surface vitrée.

## 5-1-6 Stratégies et hiérarchisation des actions S6 : jours chauds et nuits chaudes

### 5-1-6-1 Selon l'efficacité énergétique

La stratégie se profile autour de la protection permanente et la réduction de la chaleur interne. Les deux périodes journaliers présentent une seule différence, l'absence ou pas de rayonnement solaire, tout en restant avec des températures convectives au-dessus des valeurs de confort. La maison de basse consommation doit se comporter ainsi :

01 / Mode «très chaud» de jour : protection de la chaleur externe, réduction de la chaleur interne, production de froid.

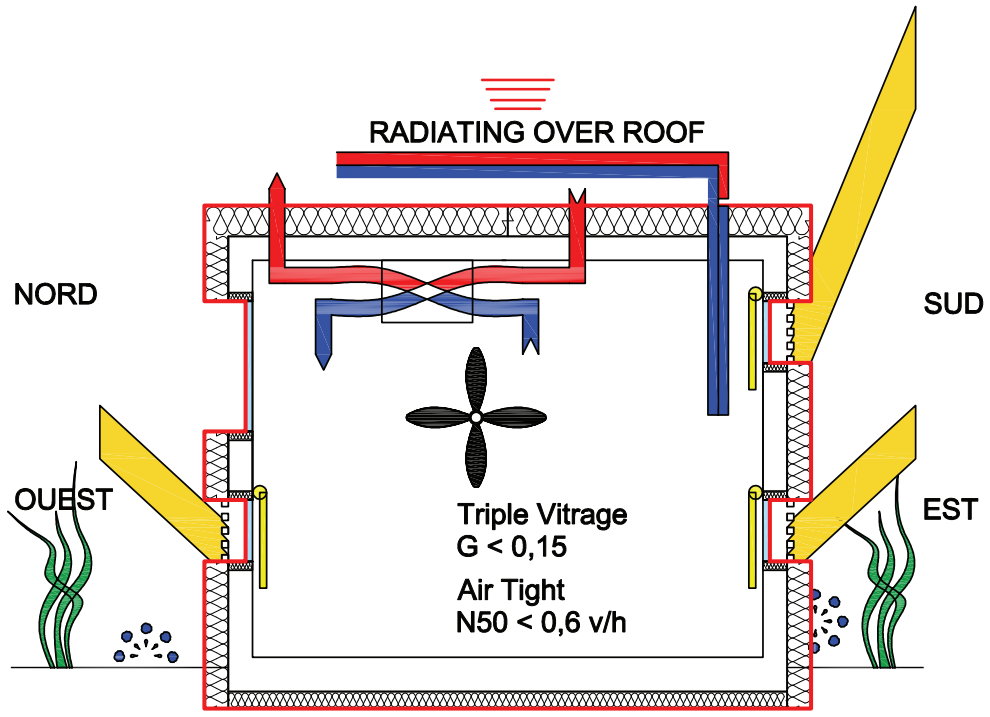



*Figure 5-17 Schéma de la maison efficace en climat permanent du type Saison climatique S5*

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | | | S6 16-août kWh/m2J |
|---|---|---|---|---|
| MODELE DE BASE | 0 | | | 100% |
| INFILTR. N50 0,6 v/h | 1 | 2 | 4 | 52,9% |
| DELTA T = -5ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 55,9% |
| INFILTR. N50 2 v/h | 1 | 2 | 4 | 58,8% |
| N50 5 v/h vs 16,5 v/h | 1 | 2 | 4 | 70,6% |
| ISOL. FORTE+PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | 78,2% |
| ISOLATION PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | 80,0% |
| DELTA T = -2ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 83,5% |
| VENTIL. 75W (-2ºC) | 6 | 1 | 1 | 84,3% |
| 10% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | 88,2% |
| DELTA T = -1ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 91,8% |
| VENTIL.50W ( -1ºC) | 6 | 1 | 1 | 92,3% |
| VITRAGE SOLAIRE G:0,15 TL:0,2 | 1 | 2 | 3 | 92,4% |
| VITRE OBSCURE+CE | 1 | 2 | 3 | 92,9% |
| RADIANT COOLING | 3 | 2 | 1 | 94,1% |
| 20% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | 94,7% |
| BSOLEIL 16 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 94,7% |
| RIDEAU REFLECTANT | 1 | 1 | 5 | 95,3% |
| ENCADREMENT 1M | 1 | 1 | 4 | 96,5% |
| ITI-SUPPRESSION 100% | 1 | 2 | 2 | 96,5% |
| BSOLEIL 8 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 97,1% |
| TV Ug0,6 (6-13-6-13-6) | 1 | 2 | 3 | 97,1% |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,8/0,1/0,1 | 2 | 1 | 1 | 97,1% |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,1/0,8/0,1 | 2 | 1 | 1 | 97,1% |
| ENCADREMENT 50CM | 1 | 1 | 4 | 97,6% |
| VMC 2F Etherm | 1 | 3 | 1 | 97,6% |
| EXTRACT.S/TOIT RAD | 4 | 2 | 1 | 97,6% |
| 100% VITREE NORD | 1 | 1 | 2 | 98,2% |
| BSOLEIL 4 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 98,8% |
| DIMINUT. M.THERM | 3 | 3 | 1 | 98,8% |
| METAL EMISS: 0,3 | 1 | 2 | 5 | 99,4% |
| BOIS EMISS: 0,9 | 1 | 2 | 5 | 99,4% |
| LAME VENTILÉE | 1 | 2 | 6 | 99,4% |
| AUGMENT. M.THERM | 3 | 3 | 1 | 99,4% |
| ISOL.FORTE 20/30cm | 1 | 2 | 1 | 100,0% |
| PUITS ENTERRES 1 v/h | 1 | 3 | 2 | 100,0% |
| FREE COOLING 15m3/h | 3 | 1 | 2 | 100,0% |
| NO VENTILATION | 3 | 1 | 1 | 100,0% |
| PAROIS INT BOIS | 6 | 3 | 1 | 100,0% |
| SANS PROTECTION EXT | 1 | 1 | 4 | 100,6% |
| PUITS ENTERRES 5 v/h | 1 | 3 | 2 | 100,6% |
| ROTATION NNE 22,5º | 1 | 1 | 3 | 100,6% |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,1/0,1/0,8 | 2 | 1 | 1 | 101,2% |
| NO RIDEAUX | 1 | 1 | 5 | 101,8% |
| M. THERM. AMPLIFIEx50 | 3 | 3 | 1 | 103,5% |
| ROTATION NE 45º | 1 | 1 | 3 | 103,6% |
| SANS PROTEC EXT + INT | 1 | 1 | 4 | 104,7% |
| ISOLATION FAIBLE 5cm | 1 | 2 | 1 | 104,7% |
| SV Ug:5,8 (6mm) | 1 | 2 | 3 | 106,5% |
| NO ISOLATION | 1 | 2 | 1 | 122,9% |
| Tmax 23ºC INT | 6 | 1 | 2 | 123,5% |
| COMPACT PLEIN PIED | 1 | 2 | 7 | 152,9% |

*Figure 5-18 Classement des actions en fonction de leur efficacité énergétique pendant une journée type de la saison climatique S3*

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | | | S6 16-août années |
|---|---|---|---|---|
| MODELE DE BASE | 0 | | | 0 |
| SANS PROTECTION EXT | 1 | 1 | 4 | -168,9 |
| ROTATION NNE 22,5º | 1 | 1 | 3 | -51,0 |
| SANS PROTEC EXT + INT | 1 | 1 | 4 | -32,4 |
| NO RIDEAUX | 1 | 1 | 5 | -30,1 |
| ROTATION NE 45º | 1 | 1 | 3 | -17,0 |
| ISOLATION FAIBLE 5cm | 1 | 2 | 1 | -7,6 |
| SV Ug:5,8 (6mm) | 1 | 2 | 3 | -6,5 |
| NO ISOLATION | 1 | 2 | 1 | -3,1 |
| Tmax 23ºC INT | 6 | 1 | 2 | -0,5 |
| INFILTR. N50 2 v/h | 1 | 2 | 4 | 0,2 |
| DELTA T = -2ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 0,4 |
| DELTA T = -1ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 0,4 |
| INFILTR. N50 0,6 v/h | 1 | 2 | 4 | 0,4 |
| DELTA T = -5ºC EXT | 5 | 4 | 1 | 0,4 |
| VENTIL. 75W (-2ºC) | 6 | 1 | 1 | 1,2 |
| ISOLATION PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | 1,2 |
| EXTRACT.S/TOIT RAD | 4 | 2 | 1 | 1,3 |
| VENTIL.50W ( -1ºC) | 6 | 1 | 1 | 1,5 |
| RIDEAU REFLECTANT | 1 | 1 | 5 | 2,3 |
| ISOL. FORTE+PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | 3,3 |
| RADIANT COOLING | 3 | 2 | 1 | 4,6 |
| ITI-SUPPRESSION 100% | 1 | 2 | 2 | 15,1 |
| TV Ug0,6 (6-13-6-13-6) | 1 | 2 | 3 | 16,0 |
| VITRAGE SOLAIRE G:0,15 TL:0,2 | 1 | 2 | 3 | 17,0 |
| VITRE OBSCURE+CE | 1 | 2 | 3 | 18,4 |
| 100% VITREE NORD | 1 | 1 | 2 | 25,4 |
| METAL EMISS: 0,3 | 1 | 2 | 5 | 39,5 |
| BSOLEIL 16 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 43,1 |
| ENCADREMENT 50CM | 1 | 1 | 4 | 44,1 |
| VMC 2F Etherm | 1 | 3 | 1 | 49,3 |
| BOIS EMISS: 0,9 | 1 | 2 | 5 | 49,4 |
| AUGMENT. M.THERM | 3 | 3 | 1 | 52,4 |
| BSOLEIL 8 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 55,4 |
| ENCADREMENT 1M | 1 | 1 | 4 | 86,9 |
| BSOLEIL 4 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | 103,8 |
| LAME VENTILÉE | 1 | 2 | 6 | 336,4 |
| PUITS ENTERRES 5 v/h | 1 | 3 | 2 | bad |
| COMPACT PLEIN PIED | 1 | 2 | 7 | bad |
| M. THERM. AMPLIFIEx50 | 3 | 3 | 1 | bad |
| DIMINUT. M.THERM | 3 | 3 | 1 | good |
| NO VENTILATION | 3 | 1 | 1 | good |
| 10% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | good |
| 20% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | good |
| N50 5 v/h vs 16,5 v/h | 1 | 2 | 4 | NA |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,1/0,8/0,1 | 2 | 1 | 1 | NA |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,8/0,1/0,1 | 2 | 1 | 1 | NA |
| PUITS ENTERRES 1 v/h | 1 | 3 | 2 | NA |
| ISOL.FORTE 20/30cm | 1 | 2 | 1 | NA |
| ECLAIRAGE rad/vis/conv:0,1/0,1/0,8 | 2 | 1 | 1 | NA |
| FREE COOLING 15m3/h | 3 | 1 | 2 | NA |
| PAROIS INT BOIS | 6 | 3 | 1 | NA |
| UNITÉ EXT. ADIAB. | 4 | 1 | 1 | NA |

*Figure 5-19 Classement des actions en fonction de leur rentabilité pendant une journée type de la saison climatique S3. (NA : sans influence significative)*

02 / Mode «très chaud» de nuit : protection de la chaleur externe, réduction de la chaleur interne, production de froid et décharge radiative vers la voûte céleste.

La Figure 5-17 représente le schéma des actions le plus efficaces, selon les tableaux des Figures 5-18 ey 5-19, qui sont :

1- Maîtrise de l'étanchéité à l'air avec des valeurs performantes
2- La réduction de la température extérieure par ombrage, humidification, ou végétalisation.
3- Isolation forte de l'enveloppe 20-30 cm et du plancher bas du RdC
4- Ventilateurs intérieurs
5- Réduction des ouvertures de la façade
6- Vitrages solaires G<0,15
7- Décharge nocturne radiative
8- Protection extérieure par encadrement de 1m ou par brises-soleil de densité moyenne
9- Rideaux réfléchissants
10- Suppression des ponts thermiques
11- Triple vitrage isolant
12- Ventilation mécanique contrôlée (VMC) double flux avec échange thermique
13- Vitrée nord de préférence

Des actions a ne pas employer sous peine de augmenter fortement les consommations :
-Faible compacité
-Ne pas isoler : murs et simple vitrage
-Ne pas favoriser la ventilation transversale
-Masse thermique importante

### 5-1-6-2 Selon le temps de retour

Si nous intéressons à la rentabilité économique de notre modèle, il ressort que la maîtrise des infiltrations, l'isolation du plancher bas du RdC, l'installation de rideaux réfléchissants et tous les moyens pour rafraîchir la température périphérique, sont des mesures avec un temps de retour de moins de 5 ans, qui viennent compléter celles qui sont intéressantes des le début, type «bonne», réduction de la surface vitrée, aucune ventilation transversale et diminution de la masse thermique.

## 5-1-7 Évaluation des combinaisons d'actions idéales pour saisons de S2 à S6

Afin d'évaluer la performance de la combinaison d'actions nous avons étudié la performances des modèles thermiques qui récapitulent l'ensemble des actions idéales par saison, de S2 a S6 et nous avons étudié aussi la performance d'une maison idéale pour une saison particulière, S2 par exemple, soumise à une météo annuelle d'une ville précise, Dubaï, dans notre cas. La Figure 5-20 montre les résultats par Saison. Ces résultats montrent d'une façon générale que plus la maison se rapproche des stratégies pour faire face à la saison la plus chaude, la S6, plus la performance annuelle est bonne, ceci était attendu car l'influence de la saison S6 sur les autres saisons en termes de consommation d'énergie est très haute, 94,7% après pondération. Nous observons aussi une augmentation du temps de retour dans les saisons qui vont de 5,2 ans pour le S4 a 10,4 années pour le S6. Le temps de retour du S2 est faussé car nous avons inclus des actions que nous pensons nécessaires pour un S2 sans que les résultats puissent le confirmer car notre période de mesure d'une seule journée n'était pas assez long pour pouvoir bien évaluer les incidences des actions alors que les consommations étaient très basses. Les consommations journalières pour S2 à S5 sont au minimum atteint dans toutes les modélisations : 0,03 kWh/m2Jour, alors que cela du S6 est plus importante, 0,15 kWh/m2Jour.

Les consommations globales sont drastiquement réduites au fur et a mesure que le modèle s'approche de l'idéal des saisons chaudes S5 et S6. Ainsi une maison conçue pour résister au mieux une saison chaude S6 arrive a réaliser une performance journalier de 8% de la performance de la maison de base et une performance annuelle à Dubaï de 12,3%.

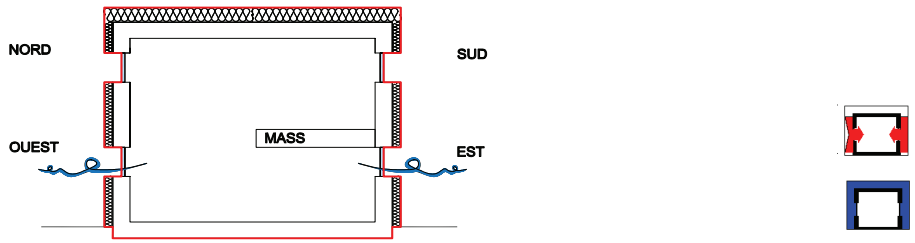
La maison S5 a une performance journalière de 6,8% de la maison de base et une annuelle de 13%.

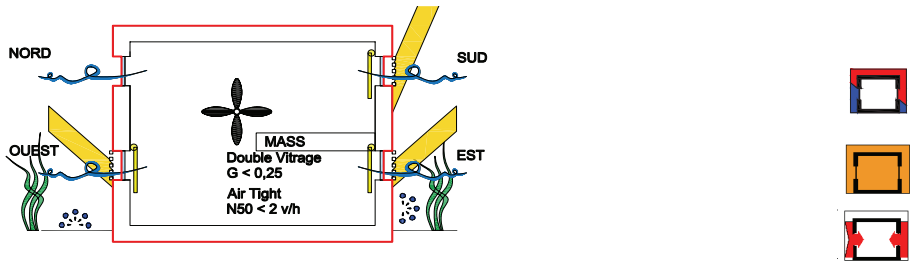
La maison S4 a une performance journalière de 60% de la maison de base et une annuelle de 30,1%. Dans le cas de la performance journalière la réduction peut sembler faible mais la S4 a tout de même obtenu une valeur de 0,03 kWh/m2Jour qui est le minimum enregistré dans nos simulations pour une journée, sauf que sa valeur était déjà très basse dans la maison de base, de 0,05 kWh/m2Jour et de ce fait les économies sembles incohérentes avec les autres saisons.

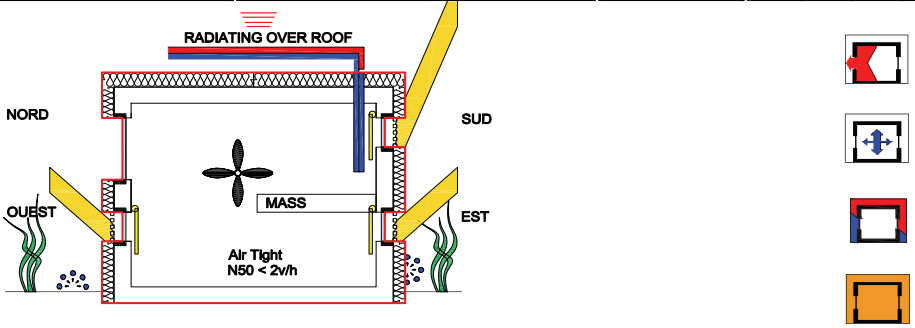
La maison S3 a une performance journalière de 30% et une annuelle de 45,8%. Tout en proposant une maison plus économique de 4143 € que la maison de base.

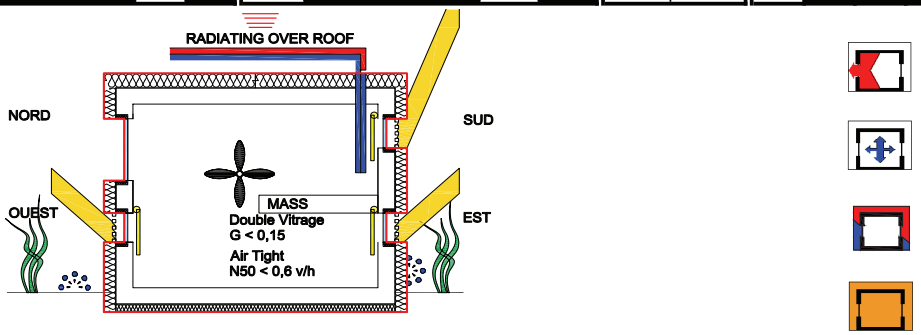
La maison S2 a une performance journalière de 100% de la maison de base et une annuelle de 76,6%.

| | DEPENSES ENERGETIQUES | | | | | | POURCENTAGE / MAISON BASE | | | | | | RECETTES FINANCIERES ECONOMIE ENERGIE | COUT DES ACTIONS ARCHITECTURALE | INTERPRETATION DU TEMPS DE REVIEN | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | AN | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | AN | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | | | | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 |
| | kWh/m2an | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | kWh/m2J | % kWh/m2an | 1-janv. kWh/m2J | 30-nov. kWh/m2J | 19-févr. kWh/m2J | 14-avr. kWh/m2J | 16-août kWh/m2J | €/an | € | années | années | années | années | années | années |
| MODELE DE BASE | 237,87 | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,7 | 100,0% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | | 0 | | | | | | |
| VARIABLES IDEALES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MAISON S2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MEILLEURE CONSO | 182,26 | 0,03 | | | | | 76,6% | 100,0% | | | | | 1495 | -11511 | good | good | | | | |
| Isolation flaible aux murs<br>masse thermique importante<br>Etancheite à l'air N50 5v/h | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MAISON S3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MEILLEURE CONSO | 108,95 | 0,03 | | | | | 45,8% | 30,0% | | | | | 3465 | -4143 | good | good | | | | |
| Reduction ouvertures : 10% facade vitrée<br>Double vitrage solaire U=2,5 G=0,15 TL=0,4<br>Reduction temperature exterieure 2ºC<br>Refroidissement radiatif 4,46W/m2<br>Rideaux reflectants<br>Etancheite à l'air N50 2v/h | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MAISON S4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MEILLEURE CONSO | 71,66 | 0,03 | | | | | 30,1% | 60,0% | | | | | 4468 | 23060 | 5,2 | 117,5 | | | | |
| Reduction ouvertures : 10% facade vitrée<br>Double vitrage solaire U=2,5 G=0,15 TL=0,4<br>Reduction temperature exterieure 2ºC<br>Refroidissement radiatif 4,46W/m2<br>Rideaux reflectants<br>Etancheite à l'air N50 2v/h<br>Masse thermique :<br>murs en beton arme et cloisons en brique<br>Isolation forte: 20cm murs et 30cm plafond<br>Suppression totale des ponts thermiques | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MAISON S5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MEILLEURE CONSO | 31 | 0,03 | | | | | 13,0% | 6,8% | | | | | 5561 | 55927 | 10,1 | 13,9 | | | | |
| Reduction ouvertures : 10% facade vitrée<br>Double vitrage solaire U=02,5 G=0,15 TL=0,4<br>Reduction temperature exterieure 2ºC<br>Refroidissement radiatif 4,46W/m2<br>Rideaux reflectants<br>Etancheite à l'air N50 0,6v/h<br>Masse thermique :<br>murs en beton arme et cloisons en brique<br>Isolation forte: 20cm murs et 30cm plafond<br>Isolation plancher bas du RdC<br>Suppression totale des ponts thermiques<br>Brise soleil exterieurs :<br>8 lames 20cm ecartées de 16cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MAISON S6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MEILLEURE CONSO | 29,21 | 0,15 | | | | | 12,3% | 8,8% | | | | | 5609 | 58492 | 10,4 | 3,8 | | | | |
| Reduction ouvertures : 10% facade vitrée<br>Triple vitrage solaire U=0,9 G=0,15 TL=0,3<br>Reduction temperature exterieure 2ºC<br>Refroidissement radiatif 4,46W/m2<br>Rideaux reflectants<br>Etancheite à l'air N50 0,6v/h<br>Masse thermique :<br>murs en beton arme et cloisons en brique<br>Isolation forte: 20cm murs et 30cm plafond<br>Isolation plancher bas du RdC<br>Suppression totale des ponts thermiques<br>Brise soleil exterieurs :<br>16 lames 20cm ecartées de 8cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



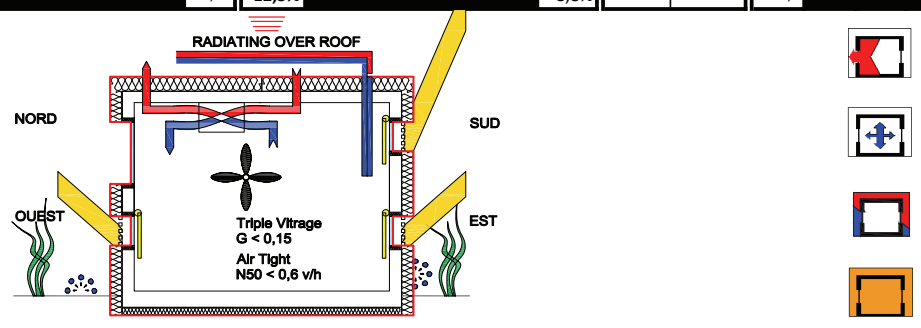




*Figure 5-20 (page suivante) Synthèse des actions les plus significatives visant un basse consommation énergétique en fonction de la saison climatique*

Dans le cas de la maison S2, il est difficile pour le modèle thermique utilisé et la période relativement courte de 24h, de fournir des résultats qui peuvent refléter l'amélioration suite à l'intégration des actions. Cependant les actions proposées permettent de réduire le coût final de la maison de 2648€ a partir des économies de isolants aux murs. La suppression de ces actions est favorable pour la Saison 2 mais évidement lors du comportement annuel elle sera pénalisée.

En conclusion nous pouvons constater qu'il est possible de diviser par 10 les consommations énergétiques d'un foyer de classe moyenne au Moyen Orient, ceci ne nous semble pas étrange au vu des réductions des consommations atteintes en Europe les dernières 40 ans qui ont vu ainsi, la consommation unitaire moyenne totale pour le chauffage passer de 120 kWh/m2 en 1973 à 40 kWh/m2 en 2011 (ADEME), et qui pourrait descendre vers des performances passives, 15 kWhm2, comme dans de nombreux projets actuels.

## 5-2 Pack climatique : méthode de compatibilité des actions dans une année climatique

### 5-2-1 Définition du pack architectural

Un «pack architectural» est l'ensemble d'actions architecturales possible dans une saison thermique visant une réduction de la consommation énergétique du projet. Ainsi dans chacune des six Saisons Climatiques nous trouverons une série d'Actions Architecturales caractérisées par un pack architectural par saison: Pack1 pour la saison S1, Pack2 pour la saison S2, ...et Pack6 pour la saison S6.

Puisque les actions architecturales peuvent marcher dans plusieurs, voir toutes, les saisons, il aura une grande quantité d'actions qui seront communes à plusieurs packs. L'enjeu est de trouver la logique et la compatibilité technique entre les actions des Packs 01 à 06.

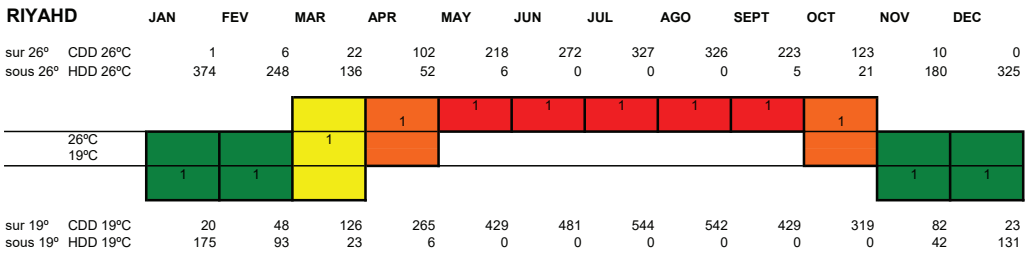
En effet, si une maison est dans un site géographique qui regroupe plusieurs saisons thermiques, et que chacune est associée un pack architectural, les saison vont se succéder le long de l'année climatique mais les packs restent tout l'année puisqu'il s'agit des actions architecturales spécifiques qui une fois construites resteront tout l'année, voir toute la vie utile de la maison. Ceci implique que, si une action architecturale spécifique est favorable pour une saison mais défavorable pour une autre saison qui arrive un peu plus tard le long de l'année sur le même site, alors la maison devra supporter un effet défavorable pendant une période de l'année et cela pendant toutes les années de vie de la maison. Un exemple pour illustrer ceci pourrait être la taille des fenêtres, si elles sont trop petites pour faire face a la chaleur de l'été mais que le climat en hiver peut être du type S2, tempéré froid, alors pendant la période fraîche, nous pourrions être inconfortables à cause du faible ensoleillement. Le contraire peut arriver aussi, de grandes baies vitrées peuvent être confortables en saison fraîche mais générer trop d'apports en été même avec les brises-soleils

### 5-2-2 Compatibilité des actions architecturales dans les packs

Nous devrons alors étudier les compatibilité des actions et en cas d'incompatibilité, voir le poids de chacune dans les économies d'énergie annuelles et donner alors priorité à celle qui apporteraient plus d'économie d'énergie. Pour étudier cette compatibilité des actions nous proposons la méthode suivante :

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | | | S1 | | | | | S2 | | | | | S3 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Favorable | Indifférent | Défavorable | Inconnu | Commentaires | Favorable | Indifférent | Défavorable | Inconnu | Commentaires | Favorable | Indifférent | Défavorable | Inc | |
| 1-PROTEC. CHALEUR EXT | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Parties vitrees | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Reduction vitres soleil | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| 20% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| Vitres sans soleil | 1 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100% VITREE NORD | 1 | 1 | 2 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |

*Figure 5-22a Extrait du Tableau de classification des actions en favorable, indifferent ou défavorable selon les résultats des modélisations.*




| | NON PONDERE | PONDERE |
|---|---|---|
| S6 | 41,7% | 65,0% |
| S5 | 16,7% | 11,0% |
| S4 | 8,3% | 2,1% |
| S3 | 0,0% | 0,0% |
| S2 | 33,3% | 21,8% |
| S1 | 0,0% | 0,0% |

*Figure 5-21 Classement climatique de Riyad par saisons climatiques avec pondération par stress climatique*

**Grille binaire des Actions Architecturales**

Pour chaque saison climatique nous créons un tenseur défini par une «1» ou un «0» si une action est favorable, indifférente, défavorable ou indéterminé. Cette première phase nous donne les actions par saison associé a des tenseurs binaires 0 ou 1 de dimension 1 x nº d'actions

En fonction du profil de l'année climatique pondéré, nous allons identifier les saisons thermiques dont nous souhaitons tenir compte dans l'analyse, car il ne faut pas oublier que même si une saison climatique dure très peu, ses actions associées vont traverser l'année complète. Ainsi face a un profile climatique pondéré nous devons arbitrer et choisir les saisons les plus influentes. Nous pouvons facilement établir les profiles climatiques des villes tels que nous l'avions fait précédemment par les simple classification des degrés jours. Mais pondérés et avec un arbitrage clair des saisons à prendre en compte dans la future conception de la maison. Si nous prenons par exemple le cas de Riyad, Figure 5-21, qui après pondération présente une influence forte de saisons S2, S5 et S6, au détriment de S4 qui a perdu son influence après la pondération, nous allons additionner les valeurs 1 et 0 par action des saisons S2, S5 et S6, dans le tableau que montre la Figure 5-22a qui va donner la somme totale par favorable, indiffèrent et défavorable.

**Méthode de cohérence des Actions Architecturales**

Ainsi pour un climat donnée d'un site spécifique, nous allons agir de la façon suivante :

1- Si la somme des actions favorables est supérieure à 0 et la somme des actions défavorables est égale à 0, alors l'action est considérée comme favorable et apparaîtra en vert.

2- Si la somme des actions favorables est 0 et la somme des actions défavorables est supérieure à 0, alors l'action est considérée comme défavorable et apparaîtra en rouge.

2- Si la somme des actions favorables est supérieure à 0 et la somme des actions défavorables est aussi supérieure à 0, alors l'action doit être analysée plus en profondeur et apparaîtra en violet.



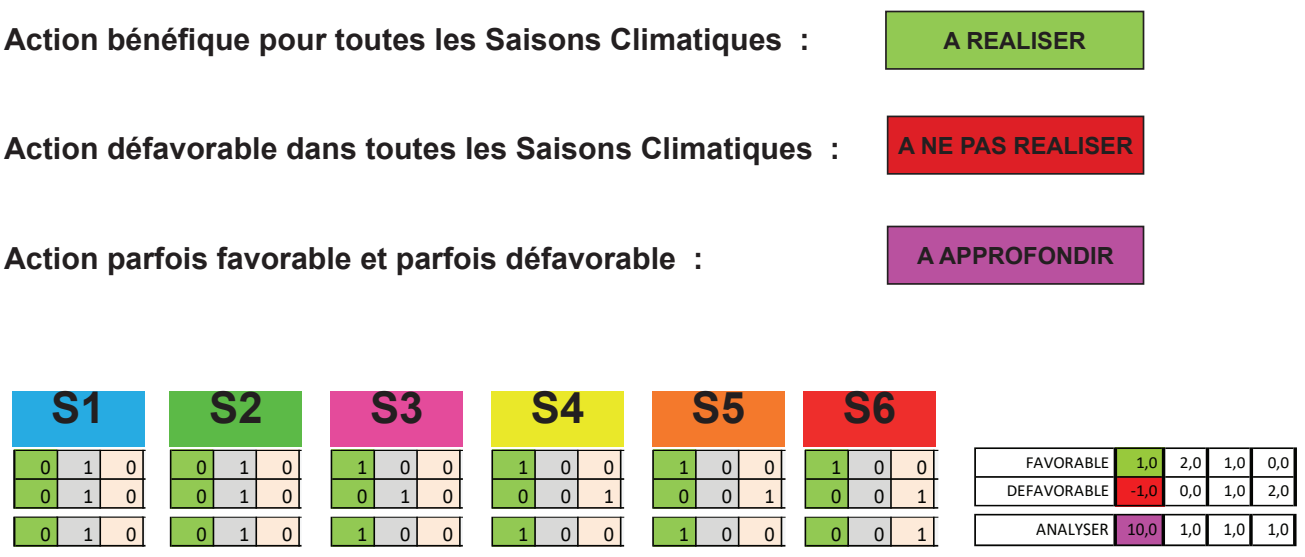



*Figure 5-22b Méthode de cohérence des choix des actions en fonction du choix des saisons thermiques*

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | S1 | | | | | S2 | | | | | S3 | | | | | S4 | | | | | S5 | | | | | S6 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Favorable | Indifférent | Défavorable | Inconnu | Commentaires | Favorable | Indifférent | Défavorable | Inconnu | Commentaires | Favorable | Indifférent | Défavorable | Inconnu | Commentaires | Favorable | Indifférent | Défavorable | Inconnu | Commentaires | Favorable | Indifférent | Défavorable | Inconnu | Commentaires | Favorable | Indifférent | Défavorable | Inconnu | Commentaires |
| 1-PROTEC. CHALEUR EXT | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Parties vitrees | 1 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Reduction vitres soleil | 1 1 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10% D'OUVERTURE | 1 1 1 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| 20% D'OUVERTURE | 1 1 1 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| Vitres sans soleil | 1 1 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100% VITREE NORD | 1 1 2 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| Orientation vitree 100% | 1 1 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ROTATION NNE 22,5º | 1 1 3 | | 1 | | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| ROTATION NE 45º | 1 1 3 | | 1 | | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| Protection vitres exterieur | 1 1 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BSOLEIL 4 LAMES 20CM | 1 1 4 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| BSOLEIL 8 LAMES 20CM | 1 1 4 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| BSOLEIL 16 LAMES 20CM | 1 1 4 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| ENCADREMENT 50CM | 1 1 4 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| ENCADREMENT 1M | 1 1 4 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| SANS PROTECTION EXT | 1 1 4 | 1 | | | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| SANS PROTEC EXT + INT | 1 1 4 | 1 | | | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| Protection vitres interieur | 1 1 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NO RIDEAUX | 1 1 5 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| RIDEAU REFLECTANT | 1 1 5 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| Parties opaques | 1 2 | | | | | | 1 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| isolation murs | 1 2 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NO ISOLATION | 1 2 1 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| ISOLATION FAIBLE 5cm | 1 2 1 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| ISOL.FORTE 20/30cm | 1 2 1 | 1 | | | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| ISOLATION PbRdC20cm | 1 2 1 | 1 | | | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| ISOL. FORTE+PbRdC20cm | 1 2 1 | 1 | | | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| Sans ponts thermiques | 1 2 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ITI-SUPPRESSION 100% | 1 2 2 | 1 | | | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| rendement fenetre | 1 2 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SV Ug:5,8 (6mm) | 1 2 3 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| TV Ug0,6 (6-13-6-13-6) | 1 2 3 | 1 | | | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| OBSCURE G:0,15 TL:0,2 | 1 2 3 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| VITRE OBSCURE CE | 1 2 3 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| Etanchéité à l'air | 1 2 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N50 5 v/h vs 16,5 v/h | 1 2 4 | 1 | | | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| N50 2 v/h vs 16,5 v/h | 1 2 4 | 1 | | | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| N50 0,6 v/h | 1 2 4 | 1 | | | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| Matériaux façades | 1 2 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| METAL EMISS: 0,3 | 1 2 5 | | 1 | | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| BOIS EMISS: 0,9 | 1 2 5 | | 1 | | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| Ombrage mur opaque | 1 2 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LAME VENTILÉE | 1 2 6 | | 1 | | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| Compacité | 1 2 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PLEIN PIED | 1 2 7 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| Ventilation | 1 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VMC2F Exch Therm | 1 3 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VMC 2F Etherm | 1 3 1 | 1 | | | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| VMC 2F ET+ N50 2v/h | 1 3 1 | 1 | | | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| Ventilation par puits souterrain | 1 3 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 v/h par puits | 1 3 2 | 1 | | | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 5 v/h par puits | 1 3 2 | 1 | | | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| 2- CHALEUR INTERNE | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Electroménagers faibles | 2 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Eclairage | 2 1 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| rad/vis/conv:0,8/0,1/0,1 | 2 1 1 | 1 | | | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| rad/vis/conv:0,1/0,8/0,1 | 2 1 1 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| rad/vis/conv:0,1/0,1/0,8 | 2 1 1 | 1 | | | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| 3-EVACUATION CHALEUR | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Evacuation Convective | 3 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ventil. naturelle | 3 1 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VENTIL+INFILTR. | 3 1 1 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| NON V+I | 3 1 1 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| V+NON I | 3 1 1 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| NON V.+NON I. | 3 1 1 | 1 | | | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| Free cooling | 3 1 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FREE COOLING 15m3/h | 3 1 2 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| Evacuation radiative | 3 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Décharge ciel | 3 2 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RADIANT COOLING | 3 2 1 | | | 1 | | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| Evacuation vers masse thermique | 3 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Masse thermique | 3 3 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIMINU. T. M.THERM | 3 3 1 | | 1 | | | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| AUGMENT. M.THERM | 3 3 1 | | 1 | | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| M. THERM. AMPLIFIEx50 | 3 3 1 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| 4- FROID PASSIF | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rafrai. adiabatique | 4 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| adiabatique directe | 4 1 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| UNITÉ EXT. ADIAB. | 4 1 1 | | | 1 | | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| Refroidissement radiatif | 4 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| air frais s/toiture | 4 2 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXTRACT.S/TOIT RAD | 4 2 1 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| 5-REDUCTION CHALEUR EXT | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Périphérie proche | 5 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| veget/ombra/humid | 5 4 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DELTA T = -1ºC EXT | 5 4 1 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| DELTA T = -2ºC EXT | 5 4 1 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| DELTA T = -5ºC EXT | 5 4 1 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| 6-CONFORT PASSIF | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bioregulation | 6 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ventilateurs | 6 1 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VENTIL.50W ( -1ºC) | 6 1 1 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| VENTIL. 75W (-2ºC) | 6 1 1 | | | 1 | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| Faible acceptance | 6 1 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tmax 23ºC | 6 1 2 | 1 | | | | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| Revet. interieur | 6 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PAROIS INT BOIS | 6 3 1 | | 1 | | | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | 0 | |

*Figure 5-23 Tableaux de classification des actions en favorable, indifférent ou défavorable selon les résultats des modélisations.*

| CONSOMMATIONS ENERGETIQUES | | | | Climat H1 S2+S5+S6 | Total | | | | S1 S2 S3 S4 S5 S6 1 1 1 | Climat H2 S5+S6 | Total | | | | S1 S2 S3 S4 S5 S6 1 1 | Climat H3 S6 | Total | | | | S1 S2 S3 S4 S5 S6 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | RIYADH | Favorable | Indifférent | Défavorable | | | DUBAI (TªAIR) MAKKAH JEDDAH MEDINAH | Favorable | Indifférent | Défavorable | | | DUBAI (Tª RESENTIE) | Favorable | Indifférent | Défavorable | | |
| 1-PROTEC. CHALEUR EXT | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Parties vitrees | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0,0 | |
| Reduction vitres soleil | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | 0,0 | |
| 10% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| 20% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| Vitres sans soleil | 1 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100% VITREE NORD | 1 | 1 | 2 | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| Orientation vitree 100% | 1 | 1 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ROTATION NNE 22,5º | 1 | 1 | 3 | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 2,0 | 1,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 1,0 | 1,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 | |
| ROTATION NE 45º | 1 | 1 | 3 | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 1,0 | 2,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 2,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 | |
| Protection vitres exterieur | 1 | 1 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BSOLEIL 4 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| BSOLEIL 8 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| BSOLEIL 16 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| ENCADREMENT 50CM | 1 | 1 | 4 | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| ENCADREMENT 1M | 1 | 1 | 4 | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| SANS PROTECTION EXT | 1 | 1 | 4 | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 1,0 | 2,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 2,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 | |
| SANS PROTEC EXT + INT | 1 | 1 | 4 | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 1,0 | 2,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 2,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 | |
| Protection vitres interieur | 1 | 1 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NO RIDEAUX | 1 | 1 | 5 | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 1,0 | 2,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 2,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 | |
| RIDEAU REFLECTANT | 1 | 1 | 5 | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| Parties opaques | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| isolation murs | 1 | 2 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NO ISOLATION | 1 | 2 | 1 | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 1,0 | 2,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 2,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 | |
| ISOLATION FAIBLE 5cm | 1 | 2 | 1 | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 1,0 | 2,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 2,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 | |
| ISOL.FORTE 20/30cm | 1 | 2 | 1 | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 3,0 | 0,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 2,0 | 0,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 1,0 | 0,0 | |
| ISOLATION PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| ISOL. FORTE+PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| Sans ponts thermiques | 1 | 2 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ITI-SUPPRESSION 100% | 1 | 2 | 2 | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| rendement fenetre | 1 | 2 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SV Ug:5,8 (6mm) | 1 | 2 | 3 | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 1,0 | 2,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 2,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 | |
| TV Ug0,6 (6-13-6-13-6) | 1 | 2 | 3 | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| OBSCURE G:0,15 TL:0,2 | 1 | 2 | 3 | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| VITRE OBSCURE CE | 1 | 2 | 3 | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| Etanchéité à l'air | 1 | 2 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N50 5 v/h vs 16,5 v/h | 1 | 2 | 4 | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| N50 2 v/h vs 16,5 v/h | 1 | 2 | 4 | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| N50 0,6 v/h | 1 | 2 | 4 | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| Matériaux façades | 1 | 2 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| METAL EMISS: 0,3 | 1 | 2 | 5 | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 2,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| BOIS EMISS: 0,9 | 1 | 2 | 5 | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 2,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| Ombrage mur opaque | 1 | 2 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LAME VENTILÉE | 1 | 2 | 6 | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 2,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| Compacité | 1 | 2 | 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PLEIN PIED | 1 | 2 | 7 | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 1,0 | 2,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 2,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 | |
| Ventilation | 1 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VMC2F Exch Therm | 1 | 3 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VMC 2F Etherm | 1 | 3 | 1 | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 2,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| VMC 2F ET+ N50 2v/h | 1 | 3 | 1 | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| Ventilation par puits souterrain | 1 | 3 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 v/h par puits | 1 | 3 | 2 | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 2,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 1,0 | 0,0 | |
| 5 v/h par puits | 1 | 3 | 2 | ANALYSER | 10,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | | ANALYSER | 10,0 | 1,0 | 0,0 | 1,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 | |
| 2- CHALEUR INTERNE | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Electroménagers faibles | 2 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Eclairage | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| rad/vis/conv:0,8/0,1/0,1 | 2 | 1 | 1 | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 2,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| rad/vis/conv:0,1/0,8/0,1 | 2 | 1 | 1 | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 2,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| rad/vis/conv:0,1/0,1/0,8 | 2 | 1 | 1 | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 2,0 | 1,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 1,0 | 1,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 | |
| 3-EVACUATION CHALEUR | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Evacuation Convective | 3 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ventil. naturelle | 3 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VENTIL+INFILTR. | 3 | 1 | 1 | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 3,0 | 0,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 2,0 | 0,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 1,0 | 0,0 | |
| NON V+I | 3 | 1 | 1 | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 2,0 | 1,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 1,0 | 1,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 1,0 | 0,0 | |
| V+NON I | 3 | 1 | 1 | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| NON V.+NON I. | 3 | 1 | 1 | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| Free cooling | 3 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FREE COOLING 15m3/h | 3 | 1 | 2 | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 2,0 | 1,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 1,0 | 1,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 1,0 | 0,0 | |
| Evacuation radiative | 3 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Décharge ciel | 3 | 2 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RADIANT COOLING | 3 | 2 | 1 | ANALYSER | 10,0 | 2,0 | 0,0 | 1,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| Evacuation vers masse thermique | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Masse thermique | 3 | 3 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIMINU. T. M.THERM | 3 | 3 | 1 | ANALYSER | 10,0 | 1,0 | 0,0 | 2,0 | | ANALYSER | 10,0 | 1,0 | 0,0 | 1,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| AUGMENT. M.THERM | 3 | 3 | 1 | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 2,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| M. THERM. AMPLIFIEx50 | 3 | 3 | 1 | ANALYSER | 10,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | | ANALYSER | 10,0 | 1,0 | 0,0 | 1,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 | |
| 4- FROID PASSIF | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rafrai. adiabatique | 4 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| adiabatique directe | 4 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| UNITÉ EXT. ADIAB. | 4 | 1 | 1 | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 3,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 2,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 | |
| Refroidissement radiatif | 4 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| air frais s/toiture | 4 | 2 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXTRACT.S/TOIT RAD | 4 | 2 | 1 | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| 5-REDUCTION CHALEUR EXT | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Périphérie proche | 5 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| veget/ombra/humid | 5 | 4 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DELTA T = -1ºC EXT | 5 | 4 | 1 | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| DELTA T = -2ºC EXT | 5 | 4 | 1 | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| DELTA T = -5ºC EXT | 5 | 4 | 1 | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| 6-CONFORT PASSIF | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bioregulation | 6 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ventilateurs | 6 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VENTIL.50W ( -1ºC) | 6 | 1 | 1 | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| VENTIL. 75W (-2ºC) | 6 | 1 | 1 | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| Faible acceptance | 6 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tmax 23ºC | 6 | 1 | 2 | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 3,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 2,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 | |
| Revet. interieur | 6 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PAROIS INT BOIS | 6 | 3 | 1 | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 3,0 | 0,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 2,0 | 0,0 | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 1,0 | 0,0 | |

*Figure 5-24 Tableaux de évaluation de la pertinence des actions pour trois climats annuels différents.*

## 5-2-3 Exemple d'application à trois cas de climat des villes du Moyen Orient

La Figure 5-23 montre le processus de l'ensemble de la binarisation des effets des actions, en 1 ou 0 selon les résultats des modélisation Énergie Plus, à l'exception de la saison S1 que nous avons remplit en fonction des connaissances très répandues de l'efficacité favorable ou défavorable des actions dans un climat froid. Une fois ce tableau complété nous pouvons choisir la ville à évaluer en fonction de ses saisons thermiques prépondérantes, sélectionnées elles mêmes après un processus simple de pondération par les valeurs des degrés-jour de chauffage et refroidissement. Nous avons choisi d'évaluer les profiles de villes représentatives du Moyen Orient (Figure 5-24) :

S2+S5+S6 : Riyad et Médine
S5+S6 : Mecque, Jeddah, et Dubaï
S6 : Dubaï selon la méthode de transformation du Heat Index

Dans le cas de la ville de Riyad, il met en évidence que la présence de l'hiver, non négligeable, nous oblige a nous réquestionner sur le choix de certaines actions, marqués en couleur violette et que nous aurions peiné à établir comme choix initiale sans faire cette analyse :

1- le rafraîchissement par puits souterrain peut être défavorable en saison très chaude, même si bénéfique par ailleurs.

2- le refroidissement radiatif peut s'avérer inutile voir contra productif en saison froide.

3- la diminution de la masse thermique n'est pas toujours bénéfique le long d'une année ni l'augmentation drastique de la masse non plus.

Cependant le concepteur pourra mettre en oeuvre toutes les actions en vert, et il ne devra proposer aucune de celles colorées en rouge. Dans le cas des villes S5 et S6, Mecque, Jeddah et Médine, le choix est le même à l'exception du 3.2.1, le rafraîchissement radiatif nocturne « radiant cooling» qui était défavorable en S2 ne l'est plus en S5 et S6 seules.

Dans le cas des villes S6, Dubaï-HI, nous constatons les différences suivantes :

1- les puits souterrains sont défavorables

2- la diminution ou augmentation de masse n'a pas d'importance, car elle n'utilise pas l'inertie pour stocker de la fraîcheur, par contre une très grande l'augmentation de masse est préjudiciable, comme il est l'effet de grandes masses de glace dans un congélateur, plus il y a des masse de glace, plus l'énergie nécessaire pour le maintenir a cette température est importante. La comparaison des stratégiques différentes pour ces cinq villes du Moyen Orient montre que bien évidement les stratégies sont différentes mais faciles à profiler avec cette méthode.

Suivant la compatibilité es actions, nous avons modélisé la maison idéale pour Dubaï à partir des actions favorables ou défavorables et nous obtenons un modèle similaire à celui du S6, il aura comme différence un peu plus de masse thermique et un compartimentage thermique des espaces chauffées intérieurs. La Figure 4-25

| | DEPENSES ENERGETIQUES | | | | | | POURCENTAGE / MAISON BASE | | | | | | RECETTES FINANCIERES | COUT DES ACTIONS | INTERPRETATION DU TEMPS DE REVIEN | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | AN | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | AN | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | ECONOMIE ENERGIE | ARCHITECTURALE | | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 |
| | kWh/m2an | kWh/m2j | kWh/m2j | kWh/m2j | kWh/m2j | kWh/m2j | % | 1-janv. | 30-nov. | 19-févr. | 14-avr. | 16-août | €/an | € | années | années | années | années | années | années |
| MODELE DE BASE | 237,87 | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,44 | 1,7 | 100,0% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | | 0 | | | | | | |
| MEILLEURE CONSO | 26,37 | | | | | | 11,1% | | | | | | 5685 | 59772 | 10,5 | | | | | |

Reduction ouvertures : 10% facade vitrée
Triple vitrage solaire U=0,9 G=0,15 TL=0,3
Reduction temperature exterieure 2ºC
Refroidissement radiatif
Rideaux reflectants
Etancheite à l'air N50 0,6v/h
Masse thermique :
murs en beton arme et cloisons en brique
Isolation forte: 20cm murs et 30cm plafond
Suppression totale des ponts thermiques
Brise soleil exterieurs :
16 lames 20cm ecartées de 8cm
Point chaud cuisine separé et ventilé

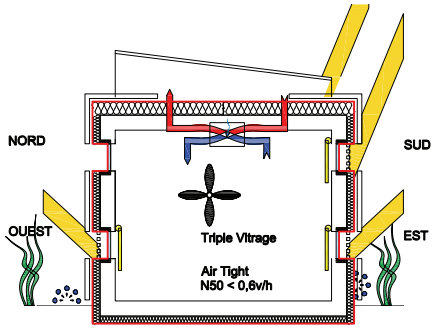



*Figure 5-25 Modèle de la maison idéale pour l'année climatique de Dubaï*

| | NON PONDERE | PONDERE |
|---|---|---|
| S6 | 50,0% | **81,7%** |
| S5 | 25,0% | **11,2%** |
| S4 | 8,3% | **1,9%** |
| S3 | 0,0% | **0,0%** |
| S2 | 16,7% | **5,2%** |
| S1 | 0,0% | **0,0%** |

| | NON PONDERE | PONDERE |
|---|---|---|
| S6 | 50,0% | **78,6%** |
| S5 | 50,0% | **21,4%** |
| S4 | 0,0% | **0,0%** |
| S3 | 0,0% | **0,0%** |
| S2 | 0,0% | **0,0%** |
| S1 | 0,0% | **0,0%** |

| | NON PONDERE | PONDERE |
|---|---|---|
| S6 | 58,3% | **83,8%** |
| S5 | 41,7% | **16,2%** |
| S4 | 0,0% | **0,0%** |
| S3 | 0,0% | **0,0%** |
| S2 | 0,0% | **0,0%** |
| S1 | 0,0% | **0,0%** |

*Figure 5-26 Résultats de la pondération, de gauche à droite, des saisons climatiques de Medinah, Jeddah, et Makkah*

montre que ce modèle est finalement le plus performant des tous avec 11,1% de la consommation annuelle de la maison Base, ce qui permet de faire des économies de 5685 €/an sur une base de prix français.

## 5-3- La maison basse consommation du climat chaud selon la méthode

Après toutes ces analyses nous pensons qu'il est intéressant de mener une réflexion sur le profil générique de la maison la meilleure adaptée au climat très chaud. Nous souhaitons faire alors un exercice qui est celui de l'interprétation des données récoltées, de la critique, du filtrage et l'adaptation que tout architecte doit faire avant de détailler davantage un projet. Après tout ce que nous avons vu, vécu, visité, testé, et finalement rédigé dans cette étude nous a montré que dans la réalité du terrain la maison universelle du climat très chaud n'existe pas. Elle varie en fonction de la force et provenance des vents, humidité relative, radiation, coutumes sociales, les matériaux locaux... Cependant la méthode développée dans le cadre de cette étude nous montre qu'il y a des points communs à toutes les typologies de climat chaud comme une sorte de socle commun auquel on va rajouter des options. Pour déterminer ce socle nous proposons la méthode tres simple : Partant sur trois climats annuels très représentatifs du climat chaud du Moyen Orient, S2+S5+S6, S5+S6, et S6, conforme à la Figure 5-24 des pages précédentes, nous identifions les actions qui sont en vert dans les trois climats. Ces actions sont :

-Réduction de la surface vitrée
-Maximum de surface vitrée orientée N
-Brises-soleil extérieurs
-Rideaux réfléchissants intérieurs
-Isolation modérée U=0,35W/m2K aux murs et U=0,17 W/m2K en toiture
-Isolation du plancher bas du RdC en contact avec le sol
-Suppression des ponts thermiques
-Triple vitrage U=0,9W/m2K
-Traitement solaire du vitrage G<0,25
-Maîtrise de l'étanchéité à l'air
-Lame d'air ventilée en façade
-Ventilation mécanique en double flux avec échangeur thermique
-Ventilation transversale en période fraîche
-Toiture radiative avec option d'arrêt en période nocturne froid et fraîche
-Augmentation modérée de la masse thermique
-Ventilateurs intérieurs
-Rafraîchissement périphérique

En complément de ces mesures nous pouvons intégrer d'autres non testés mais qui de par leur nature ne peuvent qu'être bénéfique a la consommation :

-Lumière naturelle par capteur de fibre optique en toiture ou des cheminées de lumière.
-Chauffe-eau solaires pour ECS
-Panneaux photovoltaïques en toiture ou façades E et O
-Extraction cible des points à haute chaleur latente.

Avec ces points déterminés nous pouvons désormais bâtir le récit sur la forme qu'aura le socle commun aux maisons de climat chaud :

### 5-3-1- Orientation

La maison est d'abord sur deux climats différents par leur taux d'humidité relative mais cela n'est déterminant que la nuit dans les villes côtières car la journée à cause des forts chaleurs les humidités restent acceptables sur la côte ou a l'intérieur des terres. Dans le socle commun proposé la ventilation naturelle devra pouvoir se faire facilement lorsque l'extérieur le permet. Ce socle a sa partie la plus noble et utilisée au N et des petites fenêtres à la forme allongée à l'Est et a l'Ouest, ce sont ces deux façades qui devraient avoir davantage de protections solaires et visuelles par moucharabieh ou brises-soleil dense car c'est là ou le soleil est le plus direct et difficile à filtrer, elles auront aussi des moustiquaires incluses à l'intérieur car ce sont les façades qui favoriseront souvent la ventilation naturelle O-E. La façade Sud peut être protégée plus facilement par des casquettes solaires ou des éléments surplombant. A l'intérieur des rideaux réfléchissants serviront de complément de protection contre les éventuels rayonnements solaires qui pourraient s'échapper des brises soleils. Cette mesure sera à faire en dernier recours car les rideaux réfléchissants mettent la pièce dans le noir avec pour conséquence l'utilisation de lumière électrique.

### 5-3-2- Enveloppe

Ce socle sera construit en matériaux lourd du type maçonnerie, terre crue ou béton armé, avec une isolation par l'extérieur pour éviter les ponts thermiques et une membrane d'étanchéité contre l'eau et la vapeur d'eau avec une très faible émissivité. La lame d'air ventilée sera garantie par un revêtement extérieur résistant aux intempéries et aux UV avec un faible émissivité pour ne pas se charger en radiation solaire et surtout pour ne pas emmètre vers l'intérieur : vers la lame d'air ventilée, le parepluie-parevapeur et vers la peau thermique. La toiture sera isolée davantage et elle aura un revêtement de basse émissivité ou sera végétal. Les menuiseries auront un vitrage triple isolant avec un traitement solaire avec un G relativement bas.

### 5-3-3- Traitement de l'air

Ce socle doit pouvoir s'isoler davantage et a volonté de l'extérieur et de pouvoir bien distribuer l'air frais dans la maison. Une VMC double flux thermique sera couplée avec la production de froid radiatif nocturne. La prise d'air de la VMC sera placé dans un lieux ombragé de préférence autour des endroits extérieurs rafraîchis. Dans les surfaces horizontales dégagées vers la voûte céleste il y aura des panneaux radiatifs de décharge thermique. Ces panneaux auront comme objectif de refroidir une masse d'eau confinée en isolement dans la maison. Cette eau de masse froide devra participer a diminuer la température de l'air rentrant. Cette VMC doit pouvoir extraire davantage dans une pièce avec un excédent d'humidité et de température, comme c'est le cas de la salle de bain après une douche, donnant ponctuellement priorité a l'extraction d'air dans ces pièces, avec un couple température-humidité à forte chaleur latente.

### 5-3-4- Ventilation Naturelle

La maison du climat chaud doit permettre la ventilation naturelle lorsque la température extérieure le permet. La présence de poussière dans l'air doit être traitée par la forme architecturale et par des éléments qui puissent réguler le débit d'air et filtrer en grande partie la poussière. Il s'agit d'un exercice difficile car la poussière reste dans l'air tant qu'il est en mouvement, si la vitesse de l'air diminue la poussière tombe en grande partie mais l'effet de décharge thermique de la ventilation transversale diminue aussi. Un mouvement d'air par gradient thermique peut être une bonne solution dans ces cas : prendre l'air depuis une source statique et le mettre en mouvement par la dépression créée par le gradient thermique en haut de la cheminée.

### 5-3-5- Radiation de décharge thermique nocturne

Ceci est le puits thermique le plus accessible en climat chaud. Indépendamment de la situation géographique de la maison, la nuit devrait être un moment intense de décharge de la maison pour affronter la journée chaude du lendemain. La radiation nocturne est une stratégie avec un fort potentiel. La technologie actuelle devrait pouvoir permettre de créer des systèmes qui accélèrent la décharge nocturne des maisons par radiation vers le ciel. Des panneaux avec du fluide caloriporteur, des systèmes de couplage thermique, sont des technologies qui devraient permettre cet échange car tout cela est déjà bien au point dans les climats froids avec des chauffe-eaux solaires et des couplages pour le chauffage radiatif. Cela implique qu'une partie de la toiture de la maison est constituée de panneaux radiants. Dans les cas des maisons de bas budget, l'utilisation très répandue de la tôle acier, devrait permettre de récupérer par extraction de nuit l'air refroidi sous la toiture. Des capteurs radiatifs peuvent aussi en période S2, jours tempérés et nuits froides, capter la chaleur du soleil le jour pour le restituer la nuit si nécessaire, ou au moins pour l'utilisation pour de l'eau chaude sanitaire de la douche. Même en période chaude, S5 ou S6, le capteur peut avoir un élément alternateur pour chauffer pendant la journée de l'eau chaude sanitaire.

### 5-3-6- Masse thermique

La masse thermique en contact avec l'intérieur de la maison doit permettre la décharge nocturne couplée avec la ventilation transversale. Elle permettra aussi de lisser les moments les plus chauds de la journée a l'intérieur et ainsi d'avoir une température moyenne a l'intérieur plus élevée mais par contre moins de pics de chaleur qui dépassent le seuil de température de confort.

### 5-3-7- Ventilateurs

Ils permettront d'accepter des températures plus élevées a l'intérieur de la maison tout en restant confortable. Leur incidence dans la consommation est important si pour les deux premiers degrés de dépassement et a la place de la climatisation, nous utilisons les ventilateurs.

### 5-3-8- Rafraîchissement périphérique

Ce volet est difficilement traité par des modèles thermiques très rigoureuses, car la modélisation exacte implique beaucoup de paramètres et une grande inexactitude a cause de vitesse du vent, radiation solaire, albedo, evapotranspiration des plantes, le type de sol, les radiations périphériques... Cependant il est crucial pour la réduction de la consommation énergétique de la maison. La maison du climat chaud doit pouvoir rafraîchir son entourage par le biais de l'évaporation de l'eau, l'ombrage et la végétation, ainsi des pergolas végétalisées, des toitures végétalisées, des fontaines ou la présence de plantes à l'extérieur a une importance capitale. Car si nous arrivons a descendre de 2ºC a 5ºC la température périphérique y compris la prise d'air neuf, nos consommations ont une diminution considérable. Notre maison aura alors un toit végétalisé, et des supports aux murs où la végétation pourra s'accrocher. Cette végétation sera pour l'instant arrosée avec les eaux grises de la maison, ce qui implique en parallèle deux actions fondamentales: la séparation des eaux vannes et des eaux grises ce qui réduit davantage le besoin en collecteur de la ville et les infrastructures pour le traitement des eaux. En outre elle implique aussi que les utilisateurs doivent être responsabilisés sur les types de produit de nettoyage utilisés, qui doivent être biodégradables et compatibles avec une utilisation de l'eau pour l'arrosage des plantes. Si la maison est près de la coté et de l'eau salée, celle-ci est facilement accessible. Des humidificateurs extérieurs a l'eau salée peuvent permettre aussi de descendre la température extérieure. Il faut cependant rester vigilant par rapport à l'énergie nécessaire pour le pompage de l'eau marine vers la périphérie de la maison. La technique des «coolroofs» consiste tout simplement a avoir des surfaces extérieure à très basse émissivité grâce au matériaux et à leur couleur claire, voir blanche. Cette technique peut aussi participer à la réduction de la température environnante de la maison, et pour cela nous utiliserons des couleurs claires aux murs et en toiture.

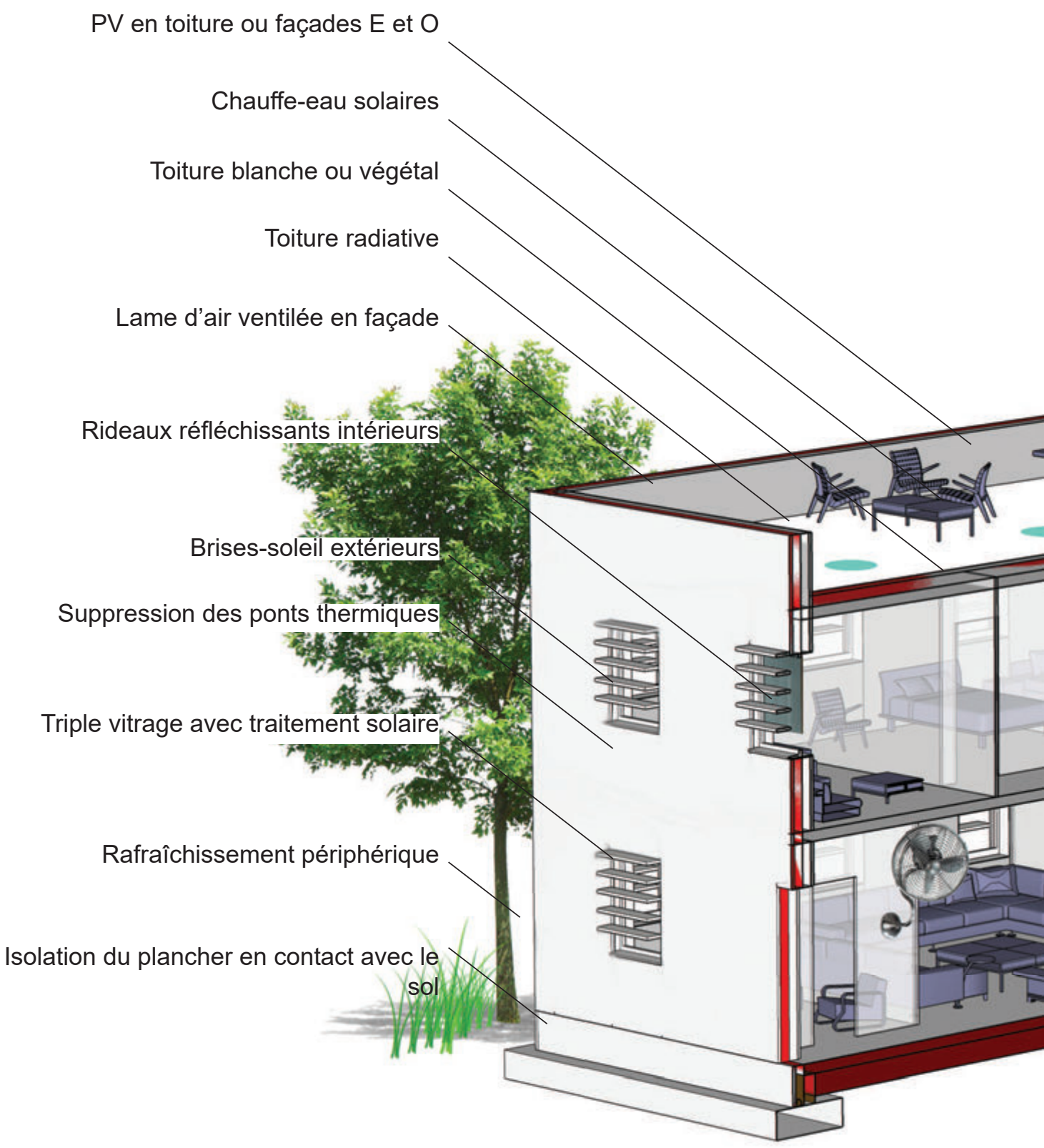
### 5-3-9- Lumière intérieure par fibre de verre solaire

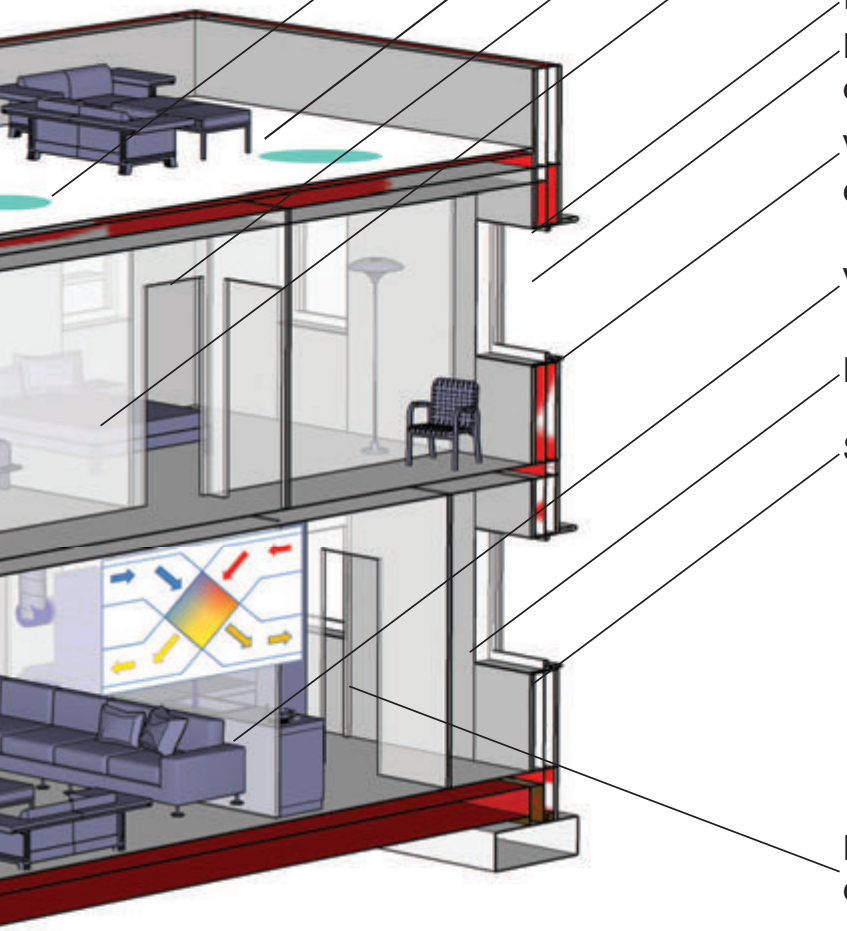
A part le travail nécessaire pour permettre que la maison soit convenablement éclairée par la lumière naturelle directe, nous pouvons tout de même ajouter, dans les points qui le nécessitent, un éclairement par fibre optique avec un capteur en toiture, cette méthode permet d'utiliser la lumière du jour sans apporter pour autant de la chaleur.

### 5-3-10- Panneaux photovoltaïques

Ils viennent en complément de toutes les mesures que nous avons décrites. Les panneaux photovoltaïques doivent permettre une production d'énergie en phase avec l'utilisation journalière de la maison, les excédents seront re-injectés au réseau électrique et vice-versa, mais cela n'est pas sans coût de déperdition par transport et donc un coût énergétique très élevé en énergie primaire. Pour mettre en phase la production et la demande nous avons trois surfaces clefs dans la maison : les façades Est et Ouest et la toiture. En fonction du profil des besoins des utilisateurs nous viendrons installer les surfaces des panneaux photovoltaïques en majorité à l'Est et en toiture si les besoins sont plus importants le matin et à l'Ouest et en toiture si les besoins sont plus identifiés en milieu de l'après-midi. Évidemment pour un équilibre des besoins, les surfaces se repartiront entre les trois surfaces : façade E, façade O et toit.

# Socle commun aux maisons basse consommation en climat chaud





Lumière naturelle par fibre optique

Isolation forte toiture

Ventilateurs

Masse thermique modérée

Isolation modérée murs

Réduction de la surface vitrée au Sud,Est et Ouest

Ventilation transversale par l'architecture et les systèmes

VMC double flux thermique

Étanchéité à l'air performance

Surface vitrée orientée N

Extraction ciblée SdB ou cuisine (à haute chaleur latente)

# 6 Proposition consolidée et critique

## 6-1 Révision de la proposition de stratégie initiale

A la fin du chapitre 3, nous avons proposé un principe d'axes stratégiques en fonction du profil climatique d'un site géographique. Les actions architecturales à mettre en oeuvre en fonction de ce profile climatique étaient une hypothèse inspirée des propositions des concepteurs «experts» en climat chaud analysées dans le chapitre 2. L'organisation de ces actions par grands groupes thématiques était aussi une hypothèse à valider (Figure 6-1) après la confrontation des résultats des modèles thermique-dynamiques. Nous avons ainsi, évalué l'impact des actions architecturales isolées sur chacune des saisons thermiques, et une année dans une ville chaude, Dubaï. C'est maintenant le moment de comparer la vision des experts des 50 dernières années avec les modélisations thermique-dynamiques réalisées dans le cadre de cette étude.

Nous constatons tout d'abord que la distribution d'actions architecturales est plus complexe que notre hypothèse initiale. Les groupes d'actions architecturales proposées ne sont pas aussi contrastés que nous le pensions.

Nous proposons de revoir le modèle de stratégie proposé initialement dans le chapitre 3 : nous avons re-organisé les actions en 8 groupes d'actions qui peuvent se préconiser séparément dans les saisons climatiques (Figure 6-2). Ces groupes représentent des groupes d'actions cohérentes et compatibles entre elles pour une année climatique en fonction du profil climatique du site. La figure 6-2 montre la position des différents groupes d'actions dans les six saisons climatiques. Cette position est donnée par les résultats des modélisations

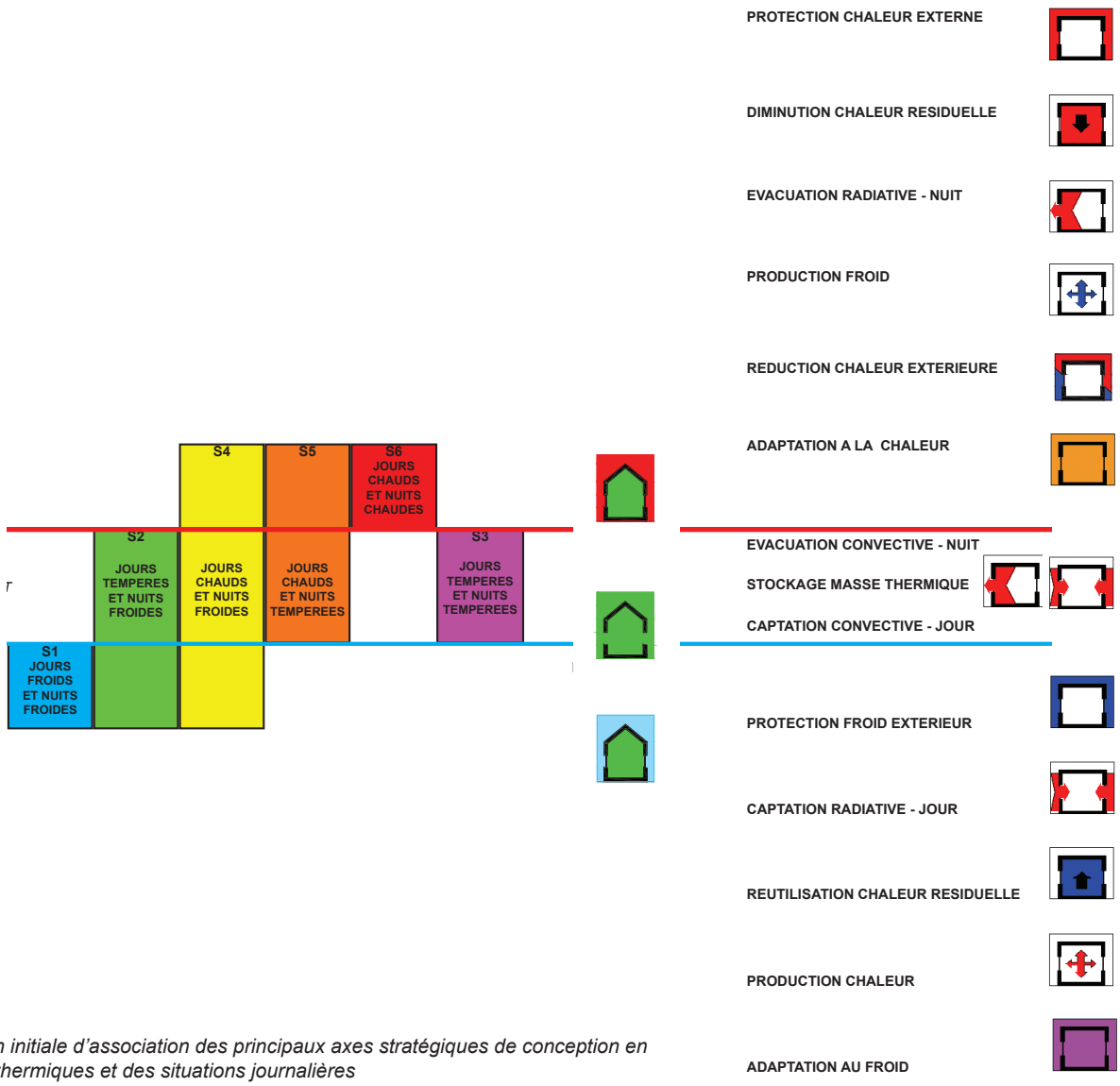



*Figure 6-1 Proposition initiale d'association des principaux axes stratégiques de conception en fonction des saisons thermiques et des situations journalières*

réalisées (chapitre 4) pour chaque action architecturale et aux synthèses proposées (chapitre 5) en fonction de leur efficacité. Afin de rendre plus lisibles les raisons des groupes d'actions, nous les avons nommés avec un raccourci de leur caractéristiques principales :

1- Le groupe «ISOLASOL» est commun aux saisons très marquées par un climat froid ou chaud sans ambiguïté. Ainsi, nous le retrouvons dans les saisons chaudes S6 et S5 et dans les saisons froides S2 et S1. Ce groupe d'actions vise à couper les flux de transmission de chaleur entre le plancher bas de la maison et le sol extérieur. Dans ces quatre saisons, la moyenne journalière de la température extérieure est en dehors des seuils de confort, ainsi la température du sol environnant le sera aussi, si ces saisons sont très prépondérantes dans l'année climatique. Un sol trop froid ou trop chaud est une source permanente de dépenses énergétiques qu'il semble falloir éviter.

2- Le groupe «ISOLACHAUD» est commun aux saisons chaudes, tempérées chaudes, ou tempérées seules, celles qui n'ont aucune composante froide : S3, S5, et S6. Il représente une isolation faible entre 5 cm et 10 cm. Ces saisons semblent ne pas être très sensibles à la super-isolation. La cause est peut être liée aux faibles écarts entre les températures moyennes journalières et le seuil supérieur de la température de confort en comparaison à un climat froid où les températures extérieures inférieures à 0ºC pour les climats froids sont plus courantes que des températures supérieures à 45ºC dans les climats chauds.

3- Le groupe «ISOLAFROID» est commun aux saisons ayant une composante froide : S1, S2 et S4. Les raisons évoquées dans le point nº 2 expliquent aussi le point présent. Ce groupe propose une action architecturale autour du renforcement thermique par une isolation à forte épaisseur.

4- Le groupe «AIR INCONFORTABLE» est commun aux saisons ayant des moments dans la journée où l'air a une température inconfortable. Ces groupes sont : S1, S2, S4, S5 et S6. Ce groupe propose des actions limitant la perte/gain aéroliques d'énergie non souhaitées par les fuites d'air. Une étanchéité à l'air renforcée est l'action architecturale représentative de ce groupe.

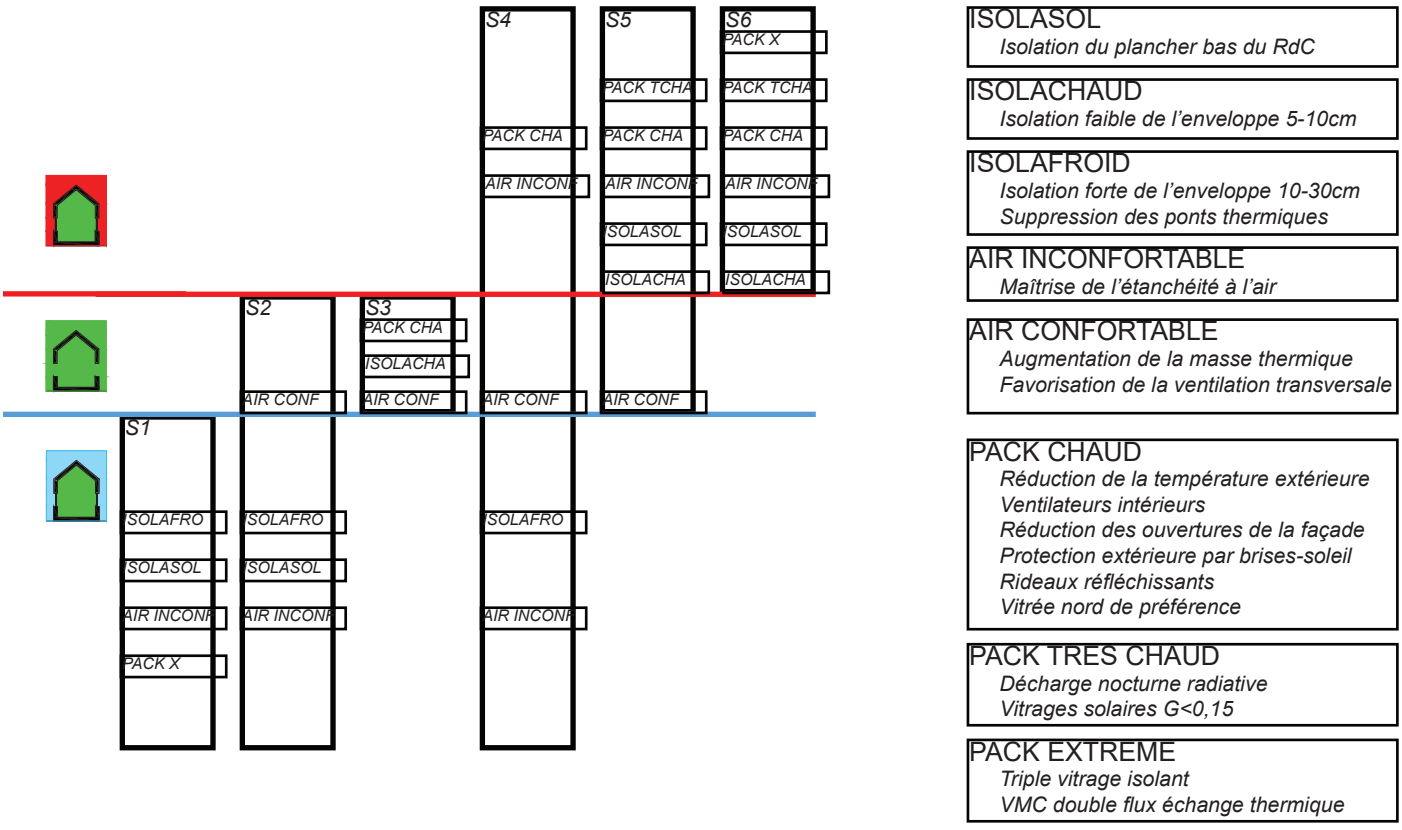



*Figure 6-2 Proposition finale d'association des principaux axes stratégiques de conception en fonction des saisons thermiques et des situations journalières après les modélisations thermique-dynamiques*

# *MÉTHODE DES SAISONS CLIMATIQUES CONSOLIDÉE*

*(1) SAISON CLIMATIQUE S1 HORS ÉTUDE*
*Les données ci dessous sont issue de la littérature et de la pratique européenne connue par les auteurs de cette étude*

## S1 (1)

ISOLAFROID
*Isolation forte de l'enveloppe 10-30cm*
*Suppression des ponts thermiques*

AIR INCONFORTABLE
*Maîtrise de l'étanchéité à l'air*

ISOLASOL
*Isolation du plancher bas du RdC*

PACK EXTREME
*Triple vitrage isolant*
*VMC double flux échange thermique*

## S2

ISOLAFROID
*Isolation forte de l'enveloppe 10-30cm*
*Suppression des ponts thermiques*

AIR INCONFORTABLE
*Maîtrise de l'étanchéité à l'air*

ISOLASOL
*Isolation du plancher bas du RdC*

AIR CONFORTABLE
*Augmentation de la masse thermique*
*Favorisation de la ventilation transversale*

## S3

PACK CHAUD
*Réduction de la température extérieure*
*Ventilateurs intérieurs*
*Réduction des ouvertures de la façade*
*Protection extérieure par brises-soleil*
*Rideaux réfléchissants*
*Vitrée nord de préférence*

ISOLACHAUD
*Isolation faible de l'enveloppe 5-10cm*

AIR CONFORTABLE
*Augmentation de la masse thermique*
*Favorisation de la ventilation transversale*

*Figure 6-3 Schéma de la méthode consolidée des actions architecturales associées aux saisons climatiques suite aux résultats des modélisations des actions*

5- Le groupe «AIR CONFORTABLE» est commun aux saisons ayant des moments dans la journée où l'air a une température confortable. Ces groupes sont : S2, S3, S4, et S5. Ces moments de température extérieure confortable permettront de coupler la ventilation transversale avec la décharge/recharge thermique associée. Pour cette raison, l'existence d'une masse thermique importante et accessible à l'intérieur de l'enveloppe isolée est nécessaire pour lisser les pics de température et réduire la consommation énergétique de la maison. Le cas de la saison S4 est légèrement différent. Cette saison traverse deux moments inconfortables dans la journée : chaud le jour et froid la nuit, ainsi, en complément de la ventilation transversale, les transferts radiatifs et conductifs justifient davantage l'existence d'une masse thermique stratégiquement répartie dans la maison (chapitre 5).

6- Le groupe «PACK CHAUD» est commun aux saisons ayant seulement une composante chaude ou tempérée. Ces groupes sont : S3, S4, S5 et S6. Ce groupe représente les actions caractéristiques des climats chauds : protection solaire, réduction de la surface vitrée, protection solaire par l'extérieur, rideaux réfléchissants... . Il est aussi présent dans la saison S3 (tempérée) car cette saisons peut avoir une température de l'air confortable mais les gaines énergétiques par radiation solaire peuvent être importantes. Pour éviter de faire monter rapidement la température intérieure au-dessus du seuil de confort, dans une journée S3, ce groupe d'action convient aussi.

7- Le groupe «PACK TRES CHAUD» est commun aux saisons ayant une composante chaude et en complément, éventuellement, une tempérée. Ces groupes sont : S5 et S6. Ce groupe contient des actions renforcées contre la chaleur comme la décharge thermique par des moyens radiatifs ou l'emploi de vitrage avec un facteur G faible. Ces actions sont coûteuses et sont plus difficiles à justifier dans les saisons climatiques moins chaudes.

8- Le groupe «PACK EXTREME» est commun aux saisons les plus extrêmes ayant exclusivement une seule composante, chaude ou froide. Ces groupes sont : S1 et S6. Il s'agit des climats extrêmes, trop froid ou trop chauds : le logement reste isolé de l'extérieur en permanence. Dans ces climats les actions suivantes de ce groupe se justifient : triple vitrage isolant et VMC à double flux thermique.

Ainsi ce schéma que nous proposons en conclusion (Figure 6-3) est le fruit de la méthode générale proposée dans cette étude mais aussi d'une interprétation formelle qui vise à rendre plus facilement compréhensible la méthode et son usage aux concepteurs.

## 6-2- La méthode des saisons climatiques consolidée

Avant d'émettre des critiques et de possibles nouveaux axes de recherche qui pourraient suivre la présente étude, nous devons actualiser le résumé des démarches à entreprendre par un architecte ou concepteur en phase initiale du projet. Il est la modification consolidée qui vient compléter le résumé déjà énoncé dans l'article 3-1 et que nous proposons dans la Figure 6-3 comme schéma de la méthode des saisons climatiques consolidée :

**1- Connaissance du contexte social du site : paramètres de confort acceptables**
Besoin de connaissance des habitudes d'usage et des paramètres de confort acceptables
**2- Connaissance du climat du site par les degré jours (DJ) de chauffage et refroidissement**
Facilement accessible sur de nombreux sites Internet.
**3- Profil climatique du site : journée type, saisons climatiques et l'année climatique**
Reconstitution l'année climatique du site en fonction de l'action «je ferme / je ouvre la maison»
**4- Profil climatique pondéré avec les DJ pour quantifier les saisons climatiques**
Pondération par les degrés jour à l'aide d'une feuille de calcul simple
**5- Comptabilité des actions : stratégies climatiques en fonction de l'année climatique**
Choisissant les saisons climatiques prépondérantes la liste des actions compatibles est immédiate
**6- Intégration des actions compatibles dans une stratégie cohérente et lisible**
A partir de la liste des actions compatibles, il faut bâtir une stratégie bioclimatique cohérente à l'appui du diagramme consolidé (Figure 6-3)
**7- Intégration des actions architecturales au projet de conception.**
L'architecte ou concepteur a toutes les indications pour développer un projet cohérent

La méthode continue à être accessible à tous. Elle permet aux concepteurs de mieux communiquer avec les commanditaires de leur projet pour valider certaines orientations du projet et de comprendre lui même l'origine et l'influence de ses choix. Cette compréhension, nous sommes sûrs, ne peut que donner plus de sens et de caractère à l'architecture du projet.

## 6-3- Critique de la méthode

### 6-3-1 Critique des moyens utilisés

La présente méthode se veut robuste mais elle s'appuie fortement sur un élément fragile : les modélisations thermique-dynamiques faites par notre équipe, des chercheurs non experts dans la manipulation des logiciels de l'environnement «Energy Plus» et de manière générale, sur un modèle thermique-dynamique non calibré dans toutes les variantes possibles et qui nous fournit des résultats difficiles à vérifier par ailleurs. Les modélisations et ses résultats ont été un des éléments majeurs du classement et de la hiérarchisation des actions. Ces résultats : tableaux, valeurs et graphiques, ont montré que le comportement des modèles correspond à nos choix paramétriques et que les informations que nous avons obtenues représentent un comportement logique d'un modèle (chapitre 4). Cependant certains points des modélisations méritent être mentionnées en suivant :

1- Paramètres liés au comportement du sol : les températures du sol en surface que nous avons employées dans les modélisations ont été obtenues par médiation de deux logiciels de la PassivHaus Institut, et qui obtiennent les températures de surface extérieure par simple corrélation de plusieurs paramètres (radiation, températures de l'air sec et du point de rosée..) associés aux coordonnées géographiques du site (chapitre 4-2-1). Nous sommes conscients que le comportement de la température du sol d'un site est beaucoup plus complexe que notre modélisation. Nous ne maîtrisons pas les flux de chaleur reçus par la maison par le logiciel en imposant la valeur des températures du sol. Nous ne maîtrisons pas l'équilibre qui se fait entre la maison et le terrain dans le long terme et qui détermine l'intensité des flux d'énergie entre la maison et le terrain. Pour cette raison nous avons comparé très attentivement les résultats des modélisations entre le comportement de la maison sans ou avec une isolation sous la dalle basse du RdC pour minimiser l'incidence d'un éventuel flux de chaleur qui viendrait perturber les valeurs d'autres actions architecturales. Les résultats semblent cohérents et l'influence des autres actions sur le modèle de base ne semble pas être perturbée par l'isolation ou pas du plancher bas du RdC, mais une vérification plus approfondie serait souhaitable.

2- Prise en compte de la masse thermique du modèle : la masse thermique joue un rôle important dans la régulation et le déphasage de la température intérieure. Le logiciel DB/E+ tient compte de cette échange avec la masse intérieure en fonction de la nature des murs. Cependant nous ne maîtrisons pas à quel point ces simulations sont crédibles et reflètent bien les enjeux autour de la masse thermique. Des simulations ultérieures devraient se faire à l'aide d'un modèle numérique calibré avec la réalité.

3- Ventilation naturelle : les phénomènes aéroliques, les effets de décharge thermique par balayage de l'air dans la maison, sont extrêmement complexes. Le logiciel tient compte des paramètres de l'air intérieur et extérieur, et en fonction des débits d'air, des températures extérieures et intérieures et des humidités, il propose un gain ou une perte d'énergie. Il est fort probable que des interactions entre les différents mécanismes de transmission de la chaleur avec la masse thermique du bâtiment (hormis la conduction) ou du confort intérieur, ne soient pas pris en compte à l'hauteur de leur influence par le logiciel DB/E+. Ces calculs relèvent des études de la thermique-dynamique des fluides et son traitement demande des moyens de simulation importants. Nous devons ainsi manipuler nos résultats avec grande précaution et en connaissance de cause.

En outre, le choix des débits de l'air de renouvellement sont arbitraires, et en fonction de la situation du projet, les valeurs choisies peuvent varier considérablement. Cependant pour pouvoir évaluer son effet il a été nécessaire de proposer une valeur que nous avons voulue importante, 5 v/h, pour bien apprécier la différence entre les phénomènes. Ce choix est peut être à revoir dans des futures modélisations, mais il a été fort utile pour nous à l'heure d'identifier les comportements des modèles dans la journée.

4- Le choix du fichier météo et des jours types : les dates choisies sont représentatives de leur saison, cependant il s'agissait des jours réels avec une couverture nuageuse hétérogène entre jours, donnant lieu à des valeurs de rayonnement diffus et direct aussi hétérogènes. Nous pensons que la construction d'un fichier «artificiel» avec les 6 jours types, S1 à S6, et un choix stratégique des valeurs climatiques (HR, rayonnement direct et diffus, vent, ..), pourra donner des résultats plus contrastés et plus exploitables.

5- L'intégration du paramètre de l'humidité relative demande le fichier météo détaillé du site ce qui n'est pas à la portée de tous. Ceci est une vraie question autour de la vulgarisation de la méthode en climat humide. Pour pouvoir l'appliquer, il faut avoir les données annuelles des humidités relatives heure par heure, et cette information n'est pas toujours disponible ou gratuite. Cependant une fois obtenue, l'application de la conversion avec le tableau «Humidex» est très simple.

La méthode présente encore des verrous à lever : la révision détaillée des réponses thermiques des

actions architecturales avec des modèles contrastés et calibrés pour pouvoir donner une réponse robuste sur l'influence d'une action architecturale sur le modèle de base. La liste des actions doit aussi s'élargir car nous n'avons testé que les actions dont la modélisation était possible dans le logiciel utilisé, DB/E+, mais rien n'empêche de s'appuyer sur d'autres outils scientifiques (modèles réels, réduits, autres logiciels..) pour déterminer l'influence d'autres actions sur un modèle de base considéré comme un point de départ «standard». Une fois que ce travail sera fait, le tableau des résultats par journée type avec les journées types aussi modélisées selon un critères plus homogène et des valeurs plus contrastées, devra permettre rapidement de reconnaître les actions idéales par type de saison climatique. Le reste de cette méthodologie, classification par degrés-jour, pondération, compatibilités des actions par saison... reste aussi simple et robuste que présentée dans le chapitre 3. La simplicité de son approche n'est pas en contradiction avec des projets complexes. Nous souhaitons la développer davantage dans les prochaines années.

## 6-3-2 Critique sur le fond de la méthode

En conclusion de notre étude nous avons des critiques de fond à émettre. Nous les développons en suivant :

1- Le chapitre 4 de cette étude et toutes les modélisations des variantes sont en réalité une étude paramétrique dans laquelle les paramètres sont les différentes actions architecturales possibles. Elles devraient avoir leurs limites hautes et basses. Dans notre étude, ces limites n'étaient pas définies explicitement, et les choix des valeurs utilisées de ces paramètres peuvent relever de questionnements. Nous avions commencé avec la définition de ces limites et très rapidement nous nous sommes rendus compte que son inclusion dans l'etude n'apportait pas des informations pertinentes : dans l'art de la construction les limites de ces paramètres sont implicitement toutes définies. Ainsi les limites de cette étude paramétrique sont liées aux pratiques constructives, dans les valeurs de la variante la plus extrême, toutefois construite. C'est ce que nous avons essayé de mettre en oeuvre.

2- Dans une étude paramétrique, l'influence des interactions entre plusieurs paramètres doit être prise en compte. Nous sommes conscients de la multitude de influences paramétriques entre groupes d'actions. Ces influences sont tellement nombreuses que nous avons décidé de les ignorer pour un souci de lisibilité de l'influence des actions : il est plus simple pour un concepteur de retenir les apports en économie d'énergie d'une action isolée que d'essayer de comprendre les diverses interactions entre groupes d'actions. Ce choix est ainsi volontaire et est à la base de notre méthode. Dans le chapitre 6-1 nous avons toutefois proposé une organisation des stratégies de conception en tenant en compte des groupes d'actions qui ont des effets positifs sur la consommation dans les mêmes saisons climatiques. Néanmoins ceci n'exclut pas le fait que deux actions puissent ensemble s'annuler. Une démarche visant à intégrer les interactions entre groupes d'actions devra se développer dans de futures suites à cette étude.

3- Cette étude aborde la maison comme un objet très, voir trop délimité. Il est vrai que les espaces ouverts, cours et patios, font partie fondatrice de la culture des climats chauds. Dans notre étude, ces espaces ouverts existent mais ils ne sont pas développés suffisamment. Ils sont présents lorsqu'on parle de ventilation naturelle, de refroidissement périphérique par la végétalisation ou humidification. Mais nous n'avons pas analysé leur forme, surface idéale, ou les dispositifs entre plusieurs espaces ouverts (courant d'air à cause des différentiels thermiques). Malheureusement la complexité du sujet des espaces extérieurs et la volonté d'offrir une lisibilité à un objet clairement délimité comme l'est une maison bâtie, nous ont dirigés vers ce choix. Le fait de marquer ces limites rend fait plus facile la compréhension des enjeux des actions architecturales. Cependant l'architecture vernaculaire ne trompe pas : lorsque il est possible faire la vie dehors, les concepteurs devront tout mettre en oeuvre pour créer des espaces extérieurs, et intermédiaires de qualité.

4- Le choix d'une maison individuelle en opposition à celui d'un appartement ou de petits collectifs est aussi une question de fond qui mérite d'être analysée. Le choix de la maison individuelle est fait pour un souci de simplification du modèle et un objectif de lisibilité de l'influence de chaque action sur le modèle de base. Dans le cas de la modélisation d'un appartement dans un bâtiment collectif, l'influence de la masse thermique, de l'orientation des ouvertures, du fait qu'il puisse être traversant ou pas... aurait ajouté beaucoup de choix arbitraires qu'auraient fait perdre de la robustesse à la méthode. Une grande partie des résultats obtenus à partir de la modélisation d'une maison individuelle peuvent être interprétés pour une application dans un appartement, le cas contraire est moins sûr.

5- Le modèle est tout de même unique et les résultats ne peuvent s'interpréter sous forme qualitative. En effet le choix morphologique de la maison reste unique, même s'il reste très représentatif de l'architecture de la région. Ainsi, les résultats obtenus ne peuvent pas être projetés sur d'autres projets même légèrement différents, d'une manière quantitative. Nous assumons ce fait car il appartient aux concepteurs de savoir analyser qualitativement les valeurs de cette étude et comprendre l'ordre de grandeur et le sens des actions pour choisir les meilleures pour son projet en toute cohérence.

6- Le choix d'établir un seuil haut de température de confort implique un recours systématique aux systèmes

de climatisation, or les bases de l'architecture bioclimatique est le non recours aux moyens de climatisation. Nous souhaiterions que tous les projets qui se construisent en ce moment puissent fonctionner sans climatisation, de par leur conception et de par l'adaptation de leurs utilisateurs. Ceci n'est malheureusement pas le cas actuellement et le but est d'explorer en parallèle la réponse efficace des bâtiments et l'acceptabilité des utilisateurs. Cette acceptabilité peut être obtenue davantage avec le phénomène du «PMV adaptatif» qui montre que les sensations d'inconfort dans les bâtiments bioclimatiques arrivent à partir de seuils de température plus extrêmes que dans un bâtiment fermé avec utilisation de systèmes de climatisation. Un travail complémentaire entre ce point, «PMV adaptatif», et le travail plus approfondi sur les espaces extérieurs mentionné dans le point 3 serait souhaitable. Ceci permettrait d'augmenter le seuil haut de la température de confort et n'utiliserait les moyens de climatisation que dans des cas plus extrêmes. Toutefois, nous croyons qu'il y a un travail de fond à entreprendre par nos gouvernements respectifs autour de la prise de conscience du fait que le confort ne se trouve pas à basses températures, mais bien au contraire à une température plus en lien avec notre environnement proche. Pour y arriver il est inévitable d'employer des moyens importants de communication pour défaire l'influence passée autour du «côté chic» des habitats fortement climatisés.

7- Le choix de faire une étude de prix «classique» ne donne pas des résultats financiers très robustes. Il faudrait trouver la méthode de quantification de la matière et son coût, pour évaluer la notion de temps de retour d'un investissement, car c'est ce paramètre qui dirige le plus souvent le choix des commanditaires et concepteurs.

8- Le choix des matériaux ne relèvent pas d'une attitude engagée et citoyenne. Le modèle de base est une maison qui n'est pas engagée d'un point de vue environnemental. En effet elle est en maçonnerie de bloc de béton, béton armé et isolant en polystyrène extrudé (XPS). Cette étude pourrait donner la fausse impression de vouloir prolonger une tendance énergivore qui démange l'environnement de la région par l'usage de produits dérivés du pétrole. Rien n'est plus loin de nos objectifs : nous avons préféré travailler avec les habitudes constructives présentes aujourd'hui dans la région. Nous sommes conscients de la forte inertie que porte l'acte de bâtir et en conséquence si nous souhaitons conduire à un changement efficace à court terme, nous devons tenir compte de la réticence que les acteurs de la construction auront à changer en même temps les habitudes et les matériaux. Nous croyons que ce sont des changements qui peuvent/doivent se faire en parallèle pour que les propositions des nouvelles tendances ne soient pas trop écartées de leur réalité quotidienne. Toutefois, si le concepteur sait bien interpréter les valeurs obtenues dans cette étude et qu'il a une bonne connaissance des propriétés des matériaux, il pourra changer les matériaux de son projet, sans grandes différences sur le résultat énergétique. Néanmoins, il lui faudra avoir les connaissances basiques de l'éco-construction pour savoir les éventuelles influences liées à d'autres matériaux : plus de masse thermique et capacité de régulation hygroscopique dans les isolants à base de bois, effet de changement de phase dans l'utilisation de la terre crue...

### 6-3-3 Critique pédagogique et professionnelle de la méthode

Dans le cadre de notre activité d'enseignants de l'école nationale supérieure d'architecture et de paysage de Bordeaux, j'ai en charge un atelier avec une centaine d'étudiants de 1er année de Master en architecture. Il s'agit d'un projet d'approfondissement des choix de conception pour développer un projet bioclimatique. Les étudiants doivent dans un projet très simple de maison individuelle, proposer une conception bioclimatique à haute performance énergétique. Le choix des emplacement se portent au choix des étudiants sur des sites autour de toute la Planète, climats chauds, froids, humides ... Le climat froid tempérée est souvent le choix le plus prisé par les étudiants.

Jusqu'à ce jour la stratégie bioclimatique était calquée sur le modèle de climat froid : orientation des ouvertures, gestion des apports solaires, performance de l'enveloppe thermique et efficacité du renouvellement de l'air. Les climats moins froids, voir chauds et très chauds devaient adapter leurs stratégies avec des modifications mineures souvent intuitives et/ou arbitraires. Cette année pour la première fois nous avons mis en place un cours qui explique comment appliquer la méthode des saisons climatiques pour hiérarchiser les choix architecturaux et bâtir une stratégie cohérente. Les étudiants n'avaient pas encore les résultats des modélisations de la présente étude ni les conclusions, mais ils pouvaient s'inspirer des principes des saisons climatiques.

Les résultats (annexes), nous ont montré la facile appropriation de la méthode par des jeunes concepteurs inexperts (les étudiants) et les résultats satisfaisants en termes de stratégie bioclimatique. Nous mêmes, pour la première fois, nous sommes habituée à mieux comprendre l'origine de la stratégie bioclimatique et nous sommes devenus très demandeurs de cette première donnée, le diagramme des saisons climatiques pondérées, comme élément fondateur du projet d'architecture.

Loin de toute prétention, il nous est maintenant difficile en tant que concepteur de projets bioclimatiques de se passer de l'application de la méthode lorsqu'il est question de construire en dehors de la région où on travaille habituellement. Y compris dans nos régions, la méthode nous montre parfois l'influence des saisons qui nous surprend et

qui nous invite à concevoir autrement. Dans le cadre de notre participation au groupe de recherche GRECCAU, nous avons travaillé sur plusieurs projets visant donner une réponse architecturale bioclimatique forte. Dans certains, les plus récents nous avons pu appliquer la méthode pour bâtir les stratégies, pour d'autres, démarrés déjà depuis plusieurs années, comme le Solar Decathlon Middle East 2018, nous avons pu nous inspirer et constater les allés-retours des concepteurs à cause d'une stratégie bioclimatique peu définie.

# 7 Conclusions et perspectives

## 7-1- Conclusion

Nous avons mis en place une méthode qui s'appelle « la méthode des saisons climatiques », qui à l'aide des degrés-jour nous permet de caractériser le climat du site du projet en saisons climatiques et identifier les situations d'usages de la maison les plus consommatrices.

Ces saisons climatiques, nous les avons mis en relation avec des « les actions architecturales » et que nous avons pu classer par performance individuelle en termes d'impact énergétique et en temps de retour d'investissement. Ensuite, une fois ce classement effectué, Nous avons proposé des panels d'actions associées pour répondre aux contraintes de ces saisons climatiques ainsi qu'une combinaison cohérente pour le projet définitif.

Il est cependant important de rappeler que le cœur de cette méthode est la simple fermeture ou ouverture de la maison vers l'extérieur en fonction de la température. Ce concept se pourrait élargir facilement en incluant d'autres raisons de fermer et ouvrir la maison, comme les pics de pollution d'une ville, le bruit de la circulation dans la journée et le long d'une année. Cela donne un profil d'ouverture/fermeture de la maison en incluant toutes les périodes qui permettent son ouverture par beau temps, qualité de l'air et sonore,..etc. Une fois ce profil fermeture/ouverture établi, les actions les plus pertinentes pas situation seront à définir pour viser la basse consommation.

Cette méthode est un outil d'aide à la décision qui invite à l'appropriation par l'architecte avec une traduction au contexte de la construction locale et en modifiant les seuils d'acceptabilité en fonction des cultures et envies des utilisateurs, car ce seront eux en dernier lieux qui réussiront a descendre ou pas la consommation énergétique par le réglage et usage de leur maison. Nous avons regardé les solutions une par une en s'inspirant des processus réel sur le terrain des choix des architectes. Ceci consiste à simplifier l'approche décisionnel en discutant une par une la mise en place d'une action architecturale. Nous aurions pu les combiner d'avantage, par 2, par 3 ou par 4, cependant cela aurait complexifié la lecture des résultats qui est destiné aux non-initiés, et aurait rendu son utilité décisionnelle moins puissante.

Nous avons pris plaisir à découvrir différents approches de conception bioclimatique, les méthodes d'aide à la conception pour les architectes et les ingénieurs, les critères de définition de ce qui est ou pas une maison bioclimatique en climat chaud, les différentes réalisations et projets en cours qui poussent l'habitat récent en climat chaud à se questionner et s'orienter vers une architecture plus responsable et citoyenne. En outre nous sommes aussi inquiets de constater les lacunes (existantes) dans le processus de conception en climat chaud : la connaissance réelle du site, la compréhension des enjeux bioclimatiques du projet, la façon actuelle de concevoir un projet sans méthodologie bioclimatique pour la plupart des concepteurs, hormis les plus engagés et militants... Après tout ce temps passé à profiler une méthode simple et parlante, nous pensons être y arrivé, car cette méthode peut facilement s'adapter à toute zone climatique. Le calcul de valeurs des résultats du modèle E+ pour d'autres actions architecturales devront se poursuivre et se contraster mais d'ores et déjà il est possible de profiter des résultats pour faire les bons choix de conception. Ces résultats pourront aussi être exploités dans un couplage avec des logiciels de logique paramétrique, qui pourront les utiliser comme des valeurs de réponse d'un bâtiment suite à un choix architectural.

Nous avons la conviction que la méthode exposée dans ce document peut contribuer à faire avancer les actions vers des habitats plus harmonieux avec leur contexte climatique. Nous devons ainsi poursuivre cette mission vers une sobriété énergétique heureuse et une architecture de qualité.

## 7-2- Perspectives et futures axes de recherche

L'approche «low-tech» de la présente étude, ouvre plusieurs voies de recherche que nous souhaitons explorer par la suite :

1- Développement de la méthode pour les différents climats de la Planète : l'approche simple «j'ouvre la maison / je ferme la maison» est aussi applicable à d'autres climats comme le froid continental, froid maritime, tropicale, équatoriale, de montagne et méditerranéen, dans tous ces climats la question de l'ouverture et de la fermeture se pose sous des contraintes différentes, parfois c'est la température, parfois c'est l'humidité, parfois les radiations solaires, le vent... . Un tel développement a besoin de comprendre les savoir faire locaux pour que les actions associées soient réalistes : un climat S3 au Vietnam ne donne pas les mêmes actions architecturales ni le même modèle de base qu'un climat S3 à Muscat ou à Cuba. Pour bien réaliser cette approche, il faut d'abord définir un modèle Base par région et ses actions architecturales bioclimatiques caractéristiques de la région. Après ce travail préliminaire, nous pourrions proposer des évolutions et des méthodologies de conception bioclimatique par région climatique.

2- Guide simple d'aide à la conception en climat chaud : si nous arrivons à consolider certains résultats et agrandir les actions architecturales possibles pour le climat chaud, il nous semble nécessaire de proposer un ouvrage écrit sous forme de guide pour l'aide à la conception des architectes et ingénieurs non experts dans la conception bioclimatique. L'objectif de cet ouvrage est de vulgariser et rendre lisibles l'approche bioclimatique en climat chaud et très chaud. Cette guide sera un simple livre sous forme de fiches et de profils climatiques par ville et par pays, avec des fiches des actions simplifiées avec la description de la mise en oeuvre accessible à tous. Tout concepteur peut trouver le profil climatique de sa ville et les valeurs pondérées pour comprendre rapidement les enjeux climatiques pour une conception de basse consommation dans le site de son projet.

3- Association entre la méthode des saisons climatiques et une conception paramétrique où les paramètres seraient les actions architecturales : comme nous l'avons déjà évoqué dans les critiques sur les influences des interactions entre les actions architecturales, le fait de faire varier les paramètres un par un ne permet pas de profiter des éventuelles interactions favorables, ou défavorables. Si, une fois choisi un site, nous avions un logiciel capable de :

- Trouver les valeurs des DJ de chauffage et refroidissement selon un seuil de confort
- Sortir automatiquement les saisons climatiques, le profil annuel du site et sa pondération
- Trouver la liste des actions architecturales compatibles et les classifier par groupes.
- Intégrer les valeurs E+ déjà calculées sur toutes les actions et interactions entre les actions.
- Être capable de favoriser en fonction du choix de l'utilisateur, certaines actions architecturales
- Proposer un projet optimal et robuste en fonction de la prédilection d'une ou plusieurs actions

Le travail de conception bioclimatique pourrait alors commencer directement dans l'intégration d'un groupe d'actions architecturales dans le projet en phase esquisse ce qui rendrait plus performant le travail au concepteurs. Ceci est tout à fait faisable, en effet, au groupe de recherche GRECCAU nous avons pu travailler dans le cadre d'autres projets de recherche sur la conception paramétrique des projets environnementaux à l'aide de logiciels comme Rhino-Grasshopper ou Autodesk Maya les possibilités qui s'offrent avec ces procédures sont très puissantes mais aussi peuvent être rapidement très frustrantes par leur complexité. Nous avons pu travailler avec le logiciel issu du projet de recherche «EcoGen» du laboratoire MAP-ARIA (UMR CNRS-MCC 3495). Ce projet montre l'intérêt de coupler la programmation paramétrique actuelle avec des algorithmes qui simulent des phénomènes génétiques de la sélection naturelle, en fonction des familles qui sont plus performantes que d'autres. Dans son ouvrage «Eco-conception générative en phase amont du projet» (mars 2018), Xavier Marsault (ENSA Lyon) nous explique comment le choix parfois arbitraire du concepteur peut privilégier d'emblée la suprématie génétique de certaines familles de solutions pour leur donner plus de poids dans les évolutions des futures solutions dans le processus d'interaction qui change en permanence en quelques secondes devant l'écran de son ordinateur. Leur logiciel EcoGen est capable de proposer des centaines de familles de combinaisons différentes pour un même site, et par seconde. Nous pourrions facilement associer un logiciel avec des algorithmes similaires mais avec un lien direct résultats (déjà initiés dans cette thèse mais qui sont à être développes davantage) du calcul E+, ce qui pourrait facilement favoriser des familles de solutions en fonction de leur performance énergétique et de la prédilection du concepteur pour mettre en place des solutions bioclimatiques : certains préférerons les ventilations naturelles, d'autres les protections solaires, l'épaisseur de l'isolation ou la réduction de la taille des fenêtres. Ces préférences pourront se faire selon leurs goûts personnels, ceux de leur clients ou du contexte local (matières premières, savoir faire..).

La combinaison de ces deux éléments est, à notre avis, un potentiel intéressant à explorer : méthode initiale par saisons climatiques, résultats du calcul Énergie+, et logiciel paramétrique avec interaction entre les actions, le tout avec un processus génétique de sélection des meilleures combinaisons d'actions. La connaissance de la «raison de base» de la stratégie bioclimatique permet aux concepteurs de communiquer auprès des commanditaires et favoriser l'acceptation du projet bioclimatique, contrairement à un processus avec une optimisation paramétrique classique où les choix finaux sortent d'une boite noire et les arguments pour convaincre sont rares.

*à Bordeaux le 18 Septembre 2018*

# BIBLIOGRAPHIE

## Articles scientifiques

*PARMIGIANI Laura-2015- Water and Energy in the GCC: Securing Scarce Water in Oil-Rich Countries-IFRI*

*SHIN Minjae, LOK DO Sung -2015- Prediction of cooling energy use in buildings using an enthalpy-based cooling dégrée days method in a hot and humid climate*

*ALALOUCH Chaham, SALAH-ELDIN SALEH Mohamed, AL-SAADI Saleh, -2015- Energy-Efficient House in the GCC Région*

*ALDOSSARY Naief, REZGUI Yacine, KWAN Alan -2014- Domestic energy consumption patterns in a hot and humid climate: A multiple-case study analysis in Jeddah and Riyad.*

*SEGAR C.-2014- Saudi Energy Mix, IEA Energy, Issue 7*

*ALRASHED Farajallah, ASIF Muhammad -2014- Analysis of critical climate related facteurs for the application of zero-energy homes in Saudi Arabia*

*HAGIHARA Jun -2013 - Saudi Arabia's Domestic Energy Situation and Policy:Focusing on Its Power Sector*

*RODRIGUEZ-UBINASA, Edwin- 2012- From High Energy Efficiency to Zéro Energy Buildings: passive stratégies and other energy efficient solutions used by Solar Decathlon Europe 2012 houses*

*AMBROSIO ALFANO, DELL'ISOLA, FICCO, TASSINI- 2012 - Experimental analysis of air tightness in Mediterranean buildings using the fan pressurization method*

*RODRIGUEZ-UBINASA, RUIZ-VALEROA, VEGA, NEILA-2011-Applications of Phase Change Material in highly energy-efficient houses*

*ST CLAIR, Peter-2009-Low energy design in the United Arab Emirates - Building design principles*

*SCHIAVON Stéphane, KRIKOR MELIKOV Arsen (ASHRAE)-2009-Introduction of a Cooling-Fan Efficiency Index*

*WANG Simon-2008-China needs air conditionning- Revue Forbes,10 Février 2008*

*Arabian Business-2008- «Dubaï's Palazzo Versace to have Air-Con Beach»*

*Cool Roofs: City of Melbourne Research Report-2011-The University of Melbourne*

*LOGAN Michael-2006-Desert Cities: The environmental history of Phenix and Tucson-University of Pittsburgh press.*

*ROSALES Luis – 2006 - Zonas climáticas para el diseño de edificaciones y diagramas bioclimáticos para Venezuela.*

*NAUSITION Henry et NAWI WAN HASSAN, Mat-2006-Potential Electricity Savings by Variable Speed Control of Compresseur of Air Conditionning Systèmes- Revue Clean Technology and environnemental policy n° 8*

*AKBARI, Hashem, LEVINSON, Ronnen-2005- Cool Colored Roof to Save Energi and Improve Air Quality-Lawrence Berkeley National Laboratory Paper*

*2000 Watt Society Challenge-2005-Ressources, Conservation and Recycling n° 44*

*AL-OTAIBI Abdullah - 2004-The Aspiration for Housing in Jeddah in Saudi Arabia*

*SAID S,HABIB M, IQBAL M. -2003- Data base for building energy prédiction in Saudi Arabia. Energy Convers Manage; 44(1):191–201.*

*LEVY, NISHIOKA, SPENGLER-2003-The public hearth benefits of insulation retrofits in existing housing in the USA-Environmetal Health 2, n°4*

*WATSON R.D.,CHAPMAN K.S. -2002- Radiant Heating and Cooling Handbook.McGraw-Hill,London.*

*BHATNAGA Shailendra-2002- Steamy Inde meets the joy of air conditionning- Reuters du 17 Octobre 2002*

*SANI ABDU M, SALAGOOR J Y, AL-HARIGI F -2002- Jeddah urban growth and development process : the underlying facteurs*

*ANTONOPOULOS K. A. and KORONAKI. E. P. -2001- On the dynamic thermal behaviour of indoor espaces.*

*SAAD ALSHEHRY Atef, BELLOUMI Mounir - Energy consumption, carbon dioxide emissions and economic growth: The case of Saudi Arabia -*

*DE DEAR Richard J., SCHILLER BRAGER Gail -1998- Developing an Adaptive Modèle of Thermal Comfort and Préférence*

*ALAWAJI S.H., EUGENIO N.N., ELANI U.A. -1996- Wind energy resource assessment in saudi arabia part II: data collection and analysis*

*ZUHAIRY A, SAYIGH A. -1993- The development of the bioclimatic concept in building design. Renewable Energy;3(5-1):521–33.*

*PRINS Gwyn-1992- «On Condis and dooloth» - journal Energy and Buildings*

*ARSENAULT Raymon-1984- The end of a long hot summer: the air conditionner and souther culture-The journal of southern history, Vol 50, issue 4*

## Thèses

*KABORE Madi – 2014 – Enjeux de la simulation pour l'etude des performances énergétiques des bâtiments en Afrique sub-Saharienne*

*ABUSHOSHA, Suhail - 2013- Habitat, aménagement et gouvernance locale en Palestine : le cas de Naplouse*

*CHAHWANE Layal – 2012 - Valorisation de l'inertie thermique pour la performance énergétique des bâtiments*

*DE DEAR, Richard – 1998 -Developing an adaptive modèle of thermal comfort and préférence*

## Livres

*MARSAULT, Xavier - Eco-conception générative en phase amont du projet -ISTE editions - 2018*

*ROTHCHILD, John-1985- Up for Grabs: A Trip Through Time and Espace in the Sunshine State*

*IZARD Jean Louis – Architectures d'été – EDISUD - 1993*

*GROBE Carsten -Construire une maison passive - Editions L'inedite – 2008*

*ALEXANDROFF Georges et Alexandrof Jeanne-Marie - Architectures et climats – 1982*

*GONZALO Roberto - architecture et efficacité énergétique - 2006*

*FATHY Hassan - Natural energy and vernacular architecture - 1986*

*GIVONI Baruch - Passive and low energy cooling – 1994*

*GIVONI Baruch - Man, architecture and climate - 1976*

*COX Stan - Loosing our cool – 2010 - The new press*

*WASSOUF Micheel – La arquitectura passiva en climas calidos – 2014*

*MAZRIA Edward – Le guide de l'énergie solar passive- 1979*

*HUGHES David (Chairman) – CIBSE- Buildings for extrême environnements : Arid – 2014*

*MOINE, Philippe et PRADEAU, Daniel– Unité pedagoqique d'architecture de Bordeaux- Éléments d'architecture adaptés au climat desertique en pays islamiques- 1978*

RAGETTE, Friedrich-2006-Traditional domestique architecture of the arab region-editeur Axel Menges

BLANDFORD Henry-1889- A practical guide to the climates and weather of Inde - Macmillan and Co.

## Rapports officiels

*NACHET Said, AOUN Marie-Claire-2015- The Saudi electricity sector: pressing issues and challenges -Institut Français des Relations Internationales IFRI*

*Building and typology reports from 2000-2016 - Dubaï Statistics Center - Government of Dubaï*

*Walid Matar, Frederic Murphy, Axel Pierru, Bertrand Rioux, David Wogan - 2015 - Efficient Industrial Energy Use: The First Step in Transitioning Saudi Arabia's Energy Mix*

*Eng. Basel T. Q. Yaseen – 2009 -Renewable Energy Applications in Palestine -Palestinian Energy and Environment Research Center (PEC) – Energy Authority Technical Department Director (PEC), Palestine.*

*The Energy Sector Strategy – Palestinian National Plan -2010*

*IEA -2014- Medium-Term Gaz Market Report*

Electricity and Cogeneration Regulatory Authority-2014-Activities and Achievements of the Authority in 2013, Kingdom of Saudi Arabia, August 2014.

Prince Abdulaziz Bin Salman Al-Saud-2014-A brief on Saudi Arabia's Energy Efficiency Program (SEEP), Oxford Energy Forum, May 2014, Issue 96

European Commission-2010-Energy Performance of Buildings Directive (recast) 2010/31/EU (EPBD), European Parliament

# Articles presse

*OUROUSSOFF N -2010 - « In Arabian Désert, a Sustainable City Rises », The New York Times, 25 septembre*

*LAHN G., STEVENS P. -2011- Burning oil to keep cool: The hidden energy crisis in Saudi Arabia, Chatham House, December.*

*SALKIN Allen-2005-Shivering for luxury- New York Times 26 june*

*Night cooling roof-Canadian Consulting Engineer Magazine- Mai 2015 - page 37*

# Sites web

*http://solarwall.com/fr/produits/nightsolar.php Consulté 04-2018 - site de l'industriel «conserval» et qui propose des systèmes des toitures radiatifs raffraichissantes*

*http://www.degreedays.net/ Consulté 04-2018 - site de calcul des dégrés jours*

*http://www.melbourne.vic.gov.au/building-and-development/sustainable-building/Pages/Cool-roofs.aspx Consulté 04-2018 - site decrivant le vaste programme de coolroofs, toitures blanches, deployé dans la ville de Melbourne*

*http://www.ladocumentationfrancaise.fr/dossiers/changement-climatique/chronologie.shtml Consulté 06-2017*

*http://www.unesco.org*

*http://www.ecodis.fr/fr/produit/ventilation-naturelle-windcatcher fournisseur de solutions techniques de basse consommation pour la ventilation naturelle et le refroidissement adiabatique*

*https://www.energieplus-lesite.be Site belge sur les statistiques des consommations, et les caractéristique des matériaux des maisons de très basse consommation.*

*https://www.moondreamwebstore.fr/ magasin on line de vente de rideaux occultant*

*http://www.schoeck.fr/fr/nos-solutions/liaison-beton-beton-9 site de vente de rupteurs de pont thermiques en Béton.*

*http://tamco.ae/windows/ Site d'un fournisseur turc de menuiseries implanté aux UAE*

*http://gutmann.ae/building-systems/reference-gallery/ Site d'un fournisseur allemand de menuiseries implanté aux UAE*

*https://weatherspark.com/y/148889/Average-Weather-at-Dubaï-International-Airport-United-Arab-Emirates-Year-Round Site pour connaître les détails de la météo de Dubaï.*

*https://energyplus.net/weather Site pour obtenir les fichiers météo de tous les principaux sites au monde.*

*https://energyplus.net/weather Site de la «Passivhaus» pour obtenir la valeur de toute météo en fonction seulement de sa position on google maps.*

*https://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/human-thermal-comfort Le site de l'approche basse consommation de Autodesk*

*https://www.femmexpat.com/destination/moyen-orient/vivre-a-riyad/ Consulté 09-2017*

*http://www.reseau-euromed.org*

*www.progress-energy.com*

*https://fr.wikipedia.org Consulté pendant les années 2015, 2016, 2017 et 2018*

*http://www.aladar-assoc.fr/ Consulté le 9 Juin 2017 - site sur l'oeuvre d'André Ravéreau*

*http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur consulté le 3 juin 2018 - site sur les evolutions des temperatures et paramètres climatiques en France*

# Annexes

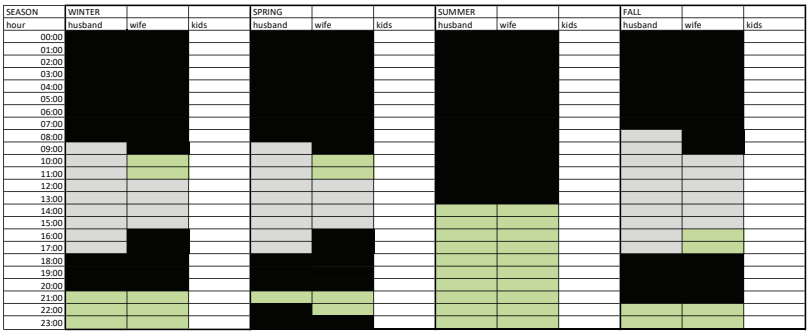
Annexe 1 - Questionnaire sur les usages de la maison par type de famille à Jeddah
Annexe 2 - Questionnaire sur les usages de la maison en Moyen Orient
Annexe 3 - Choix et valeurs des paramètres Design Builder
Annexe 4 - Comparatif des valeurs de la consommation selon le logiciel PHPP
Annexe 5 - Détail de l'etude de prix maison Base
Annexe 6 - Travail des étudiants du Master 1 ENSAPBX 2017-2018
Annexe 7 - Application de la méthode au Solar Decathlon Middle East - Dubaï 2018
Annexe 8 - Caractérisation du climat de Dubaï selon la méthode des Saisons Climatiques pour une plage de température de l'air sec de 23ºC-25ºC pour la compétition du Solar Decathlon Middle East 2018.

# Annexe 1
## Questionnaire sur les usages de la maison par type de famille à Jeddah

Nos collègues chercheurs saoudiens associés au GRECCAU ont pu mener lors des déplacements à Jeddah un questionnaire réduit sur le temps que les familles passent à la maison, au travail et aux loisirs en fonction de leur profile dans la situation familiale.

At home
At work
At leisure

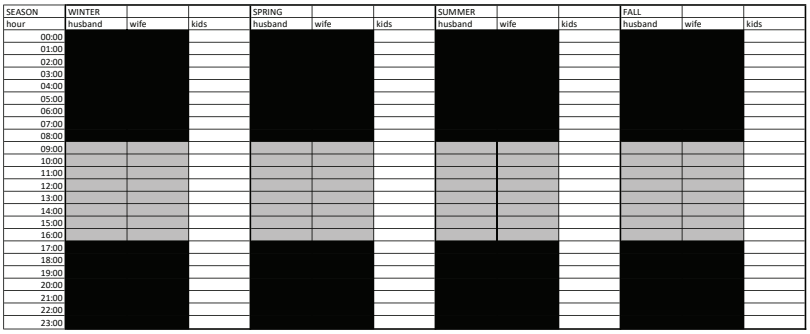
FAMILLE SANS ENFANTS




ocuppée de 16h a 10h de 16h a 10h de 00h a 14h de 18h a 10h

At home
At work
At leisure

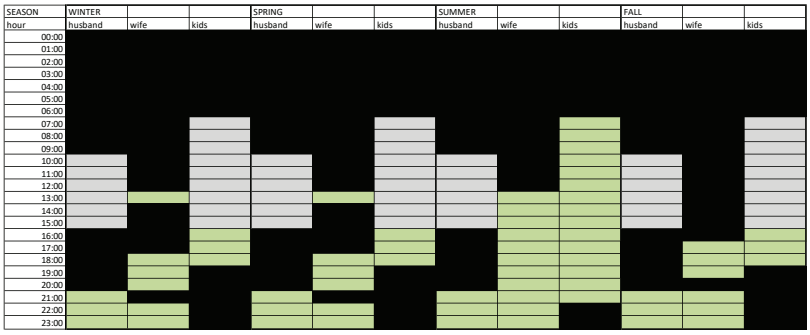
FAMILLE DE FONCTIONAIRES SANS ENFANTS




ocuppée de 17h a 9h de 17h a 9h de 17h a 9h de 17h a 9h

At home
At work
At leisure

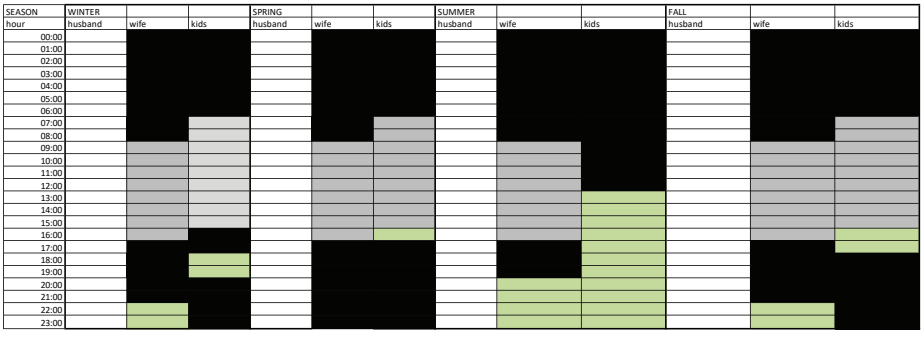
FAMILLE AVEC MERE, PERE ET ENFANTS




ocuppée de 14h a 13h de 14h a 13h de 14h a 16h de 14h a 14h

At home
At work
At leisure

FAMILLE MONOPARENTALE




ocuppée de 17h a 13h de 14h a 13h de 14h a 16h de 14h a 14h

# Annexe 2
## Questionnaire sur les usages de la maison en Moyen Orient

Nous avons lancé un questionnaire en ligne :
https://www.survio.com/survey/d/P3R9Q3O7M9U7C9M2M

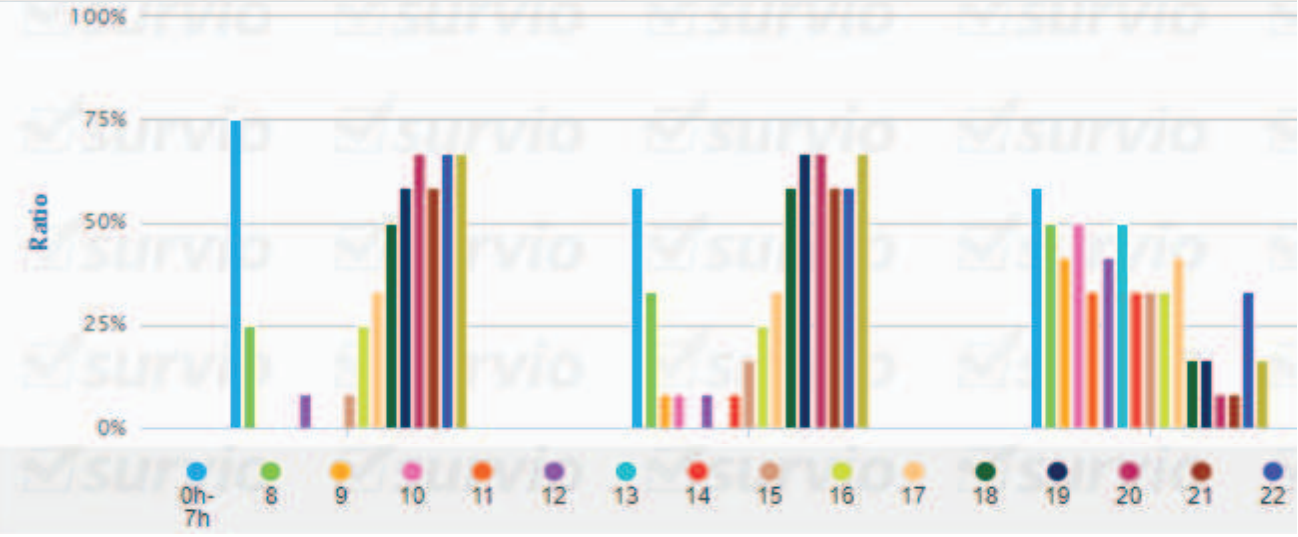
A partir de le site www.survio.com afin de connaître mieux les rapports de habitants des pays du Golfe ont avec leur maison, ainsi que la composition de ces maisons. Nous avons eu une participation réduite mais qui confirme les recherches que nous avons fait par ailleurs. Aucune contradiction fut détectée dans les reponses.

| 1 Where do you live in the Gulf Cooperation Council? | | |
|---|---|---|
| UAE | 1 | 8,3 % |
| Saudi Arabia | 9 | 75 % |
| Oman | 2 | 16,7 % |
| Qatar | 0 | 0 % |

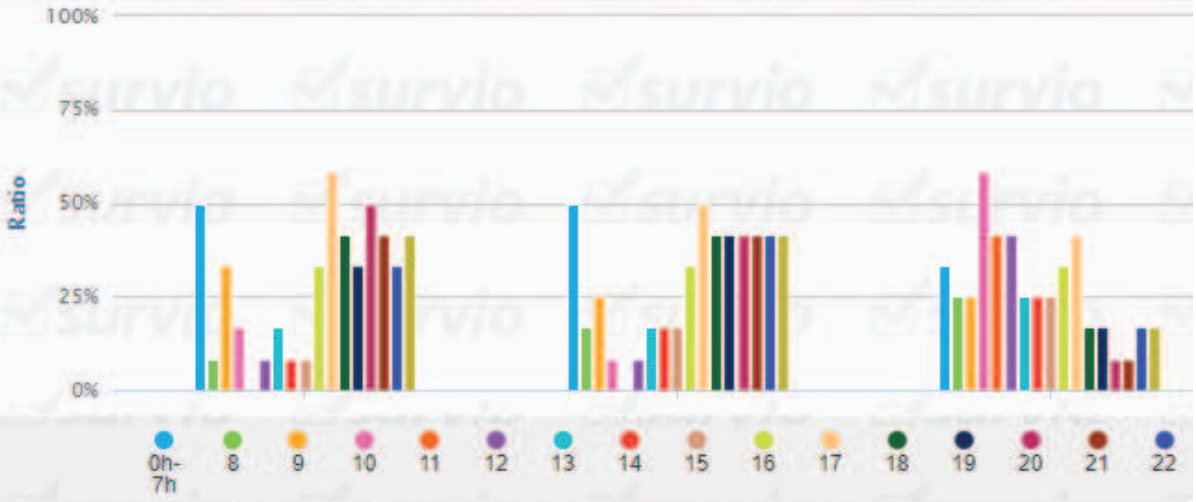
| 2 What is your profile? | | |
|---|---|---|
| man working mainly on public sector | 4 | 33,3 % |
| man working mainly on private sector | 7 | 58,3 % |
| woman working mainly on public sector | 1 | 8,3 % |
| woman working mainly on private sector | 0 | 0 % |

| 3 How many children do live with you at home? | | |
|---|---|---|
| none | 4 | 33,3 % |
| 1 child | 3 | 25 % |
| 2 children | 2 | 16,7 % |
| 3 children or more | 3 | 25 % |

**4 At what hours do YOU find yourself at home ?**



**5 Which are the hours of the highest domestic activity : cooking, showering, cleaning, air-conditioning..?**




**6 Do you feel confortable at home during the hottest and coldest periods?**

| | | |
|---|---|---|
| No, my house is always confortable | 8 | 72,7 % |
| I feel rather hot inside during the hottest periods | 2 | 18,2 % |
| I feel rather cold inside during the coldest periods | 1 | 9,1 % |

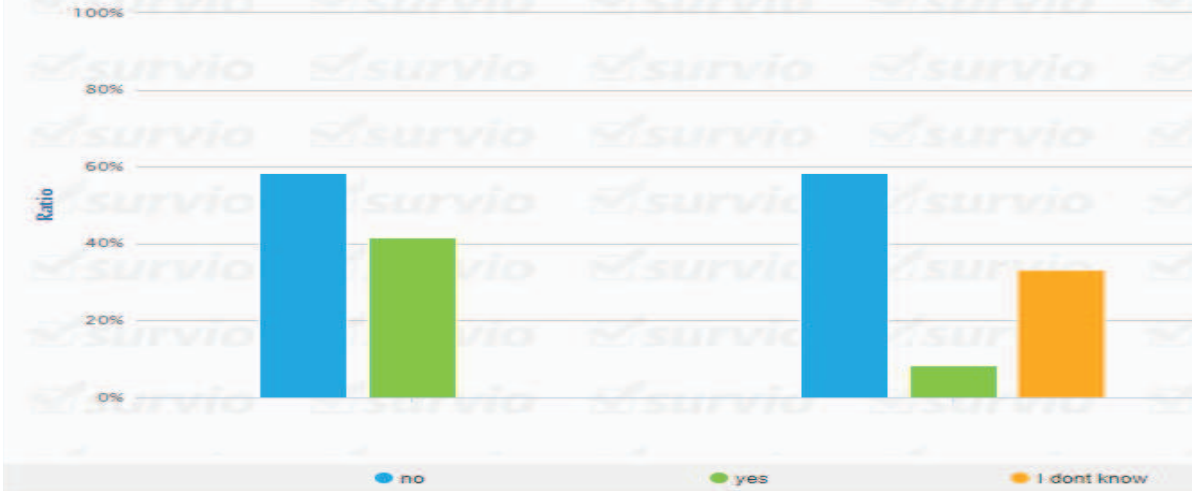
**7 How much do you pay of domestic energy per year?**

| | | |
|---|---|---|
| I dont know | 4 | 33,3 % |
| less than 1% of my annual gross salary | 2 | 16,7 % |
| between 1% to 3% of my annual gross salary | 4 | 33,3 % |
| more than 3% of my annual gross salary | 2 | 16,7 % |

**8 What are the insulation features of your house to achieve low energy consomption ?**

| | not | 5cm | 10cm | 15cm |
|---|---|---|---|---|
| Are the walls of my house insulated | 3 | 0 | 2 | 3 |
| Is the roof of my house insulated | 3 | 1 | 0 | 3 |
| Is the ground of my house insulated | 3 | 0 | 2 | 2 |

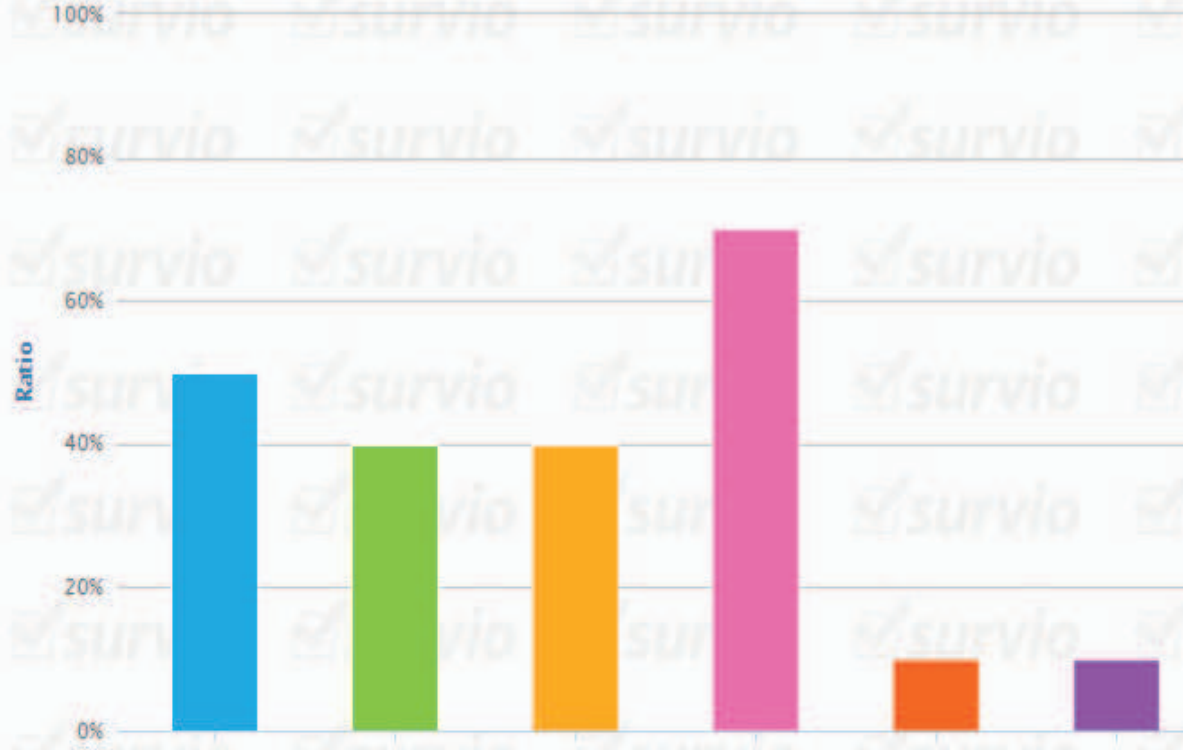
**9 What are the features of your windows to achieve low energy consomption ?**



**10 how do you clean the air inside the house?**

| | | |
|---|---|---|
| By opening the windows when the outside temperature is confortable ( not too hot nor too cold) | | 100 % |
| by one or several electrical air extractors that sucks out used air from toilets and kitchen | | 25 % |
| by a double flow air system with thermal exchange | | 0 % |
| I dont know, i dont feel like air must get renewal | | 8,3 % |

**11 have you external spaces in your house?**




| | | |
|---|---|---|
| a balcony | 5 | 50 % |
| a terrasse | 4 | 40 % |
| a roof | 4 | 40 % |
| a garden | 7 | 70 % |
| a patio | 1 | 10 % |
| a porch | 1 | 10 % |

**12 when do you use the external spaces of your house?**

| | | |
|---|---|---|
| never, i do not have external spaces | 2 | 18,2 % |
| never, is too hot all the time | 1 | 9,1 % |
| only at night time in winter time | 2 | 18,2 % |
| day and night but only in winter time | 4 | 36,4 % |
| at night time all year round | 1 | 9,1 % |
| day and night all year round | 1 | 9,1 % |

# Annexe 3
## Choix et valeurs des paramètres Design Builder

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| RESULTATS | CONSO. | Energie finale sur site | 135,6 | kWh/m2/an |
| | | Energie Primaire | 181,2 | kWh/m2/an |
| DESCRIPTION PROJET | CARACTERISTIQUES | Surface habitable | 215 | m2 |
| | | volume | 781 | m3 |
| | | occupants | 6 | u |
| | SITE | Ville-Pays | | Dubai |
| | | Nombre de Buildings | 1 | |
| | | Nombre de Blocs | 2 | |
| | | Nombre de Zones | 2 | |
| LOCALISATION | Details du site | Zone climatique ASHRAE | 1B | |
| | | Altitude | 10 | m |
| | | Exposition au vent | | 2-normale |
| | | Orientation | 0 | Nord=0 |
| | Terrain | Facteur reflexion du sol | 0,2 | |
| | | Tª sol -2m | 18 | ºC |
| | | Tª sol -10m | 14 | ºC |
| | Eau reseau | Tª air moyenne annuelle | 20 | ºC |
| | Precipitation | Precipitation annuelle moyenne nominal | 0,1 | m/an |
| | Donnees meteo hiver | vitesse du vent | 10 | m/s |
| | | Direction du vent | 0 | Nord=0 |
| | Donnees meteo ete | vitesse du vent | 10 | m/s |
| | | Direction du vent | 0 | Nord=0 |
| ACTIVITE | OCCUPATION | Densite | 0,028 | per/m2 |
| | | Planning | | 7h+13h+19h |
| | | Activity | 80 | w/per |
| | METABOLISME | Facteur | 1 | |
| | | vetement hiver | 0,8 | |
| | | vetement été | 0,5 | |
| | VACANCES | Vacances par an | | NON |
| | EAUX CHAUDE SANITAIRE | Conso par personne | 50 | l/(perxjour) |
| | | conso surfacique | 1,40 | l/(m2xjour) |
| | CONTROLE DE L'AMBIANCE | chauffage | 19 | ºC |
| | | Limite basse chauffage | 10 | ºC |
| | | Climatisation | 26 | ºC |
| | | limite haut climatisation | 50 | ºC |
| | | Consigne humidification | 20 | %HR |
| | | Consigne deshumidification | 70 | %HR |
| | | controle de la ventilation min interieure | 19 | ºC |
| | | controle de la ventilation max interieure | 26 | ºC |
| | | renouvellement air neuf | 30 | m3/h-pers |
| | | | 8,33 | l/s-pers |
| | | Ventilation mecanique par surface | 1 | l/s-m2 |
| | | Eclairage | 300 | Lux |
| | | Densité d'eclairage d'accentuation | 0 | W/m2 |
| | | Ordinateur | 0,465 | W/m2 |
| | | Cuisine | 400 | W |
| | | ratio puissance/m2 plancher | 1,86 | W/m2 |
| CONSTRUCTION | Murs | Externe | | enduit 20+bloc 150+air 20+isolation 100+bloc |
| | | Interne | | enduit 13+bloc 100+platre13 |
| | Toits | Terrasse | | platre 13+beton 200+isolation200+bitume 5+c |
| | | Plancher bas sur terrain | | beton 200+chape 40+carrelage 20 |
| | | Plancher intermediaire | | platre 13+beton 200+chape 40+carrelage 20 |
| | Portes | Porte exterieure | 1,8 | W/m2K |
| | Etancheité a l'air | predefinition de fissure | | moyen |
| | | infiltration | 2 | vol/h |
| | | planning | | On 7/24 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **OUVERTURES** | vitrage | | 328,9 | m2 facades tout confondu |
| | | | 42,12 | m2 surface vitrée-cadres |
| | vitrage externe | Vitrage Ug | 2,5 | W/m2K |
| | | g value (SHGC) | 0,45 | |
| | | Transmision lumineuse TL | 0,75 | |
| | | Materiaux du cadre | | Aluminium avec Rupture Pont Thermique |
| | | Fenetre Uw | 2,5 | W/m2K |
| | | % surface ouverture fixe dans fenetres | 0% | |
| | Stores de fenetre | Type | | Blind wiht high reflectivity slats |
| | | Position | | interieure |
| | | type de control | | Temp air interieur |
| | Stores de fenetre de toit | Type | | Blind wiht high reflectivity slats |
| | | Position | | interieure |
| | | type de control | | Ensoleillement sur fenetre |
| | | Programme | | On 24/7 |
| | | | | OUI |
| | Brise-soleil exterieur | Type | | Casquette-overhang 50cm |
| | | | | NON |
| | Controle du flux d'air par fenetres | Source | | air exterieur |
| | | destination | | air interieur |
| | | debit | 0 | m3/s-m |
| | Eclairage | Densité de puissance normalisee | 5 | w/m2-100lux |
| | | type | | suspendu |
| | | Fraction radiante | 0,42 | |
| | | Fraction vsible | 0,18 | |
| | | Controle d'eclairage selon la lumiere exterieure | | OUI |
| | | Eclairage exterieur | | NON |
| **CVC** | General | Programme | | Active si temp ext< temp int |
| | Ventilation naturelle | Debit max | 5 | vol/h |
| | Ventilation mecanique | taux | 2 | vol/h |
| | | Controle fonctionnement nocturne | | actif si une zone est a tª hors consigne |
| | | Free cooling | | Ecart sur temperature seche |
| | | Debit max | 15 | vol/h |
| | | Recuperation de la chaleur | | NON |
| | Chauffage | Simple | | radiant convectif |
| | | COP | 0,8 | COP saisonnier |
| | | Compact | | Gas fired condensing boiler |
| | Climatisation | Simple | | Air cooled Default |
| | | COP | 0,8 | COP saisonier |
| | | ratio humidité | 0,009 | Ratio d'humidité minimum air souflé |
| **CONCEPTION DU CHAUFFAGE** | Calcul | Temp. controle | | Tº air |
| | | Exclure toute ventilation naturale | | oui |
| | | Exclure toute ventilation mecanique | | non |
| | | Exclure recuperateur de chaleur | | oui |
| | Dimmensionnement du systeme | Facteur de dimmensionnement | 1,25 | |
| **CONCEPTION DE LA CLIMATISATION** | Options de calcul | Temperature de controle ( air ou operative) | | Tº air |
| | | Jours de conception d'été | | 15-juil |
| | | Exclure toute ventilation naturale | | oui |
| | | Exclure toute ventilation mecanique | | non |
| | | Exclure recuperateur de chaleur | | oui |
| | Dimmensionnement du systeme | Facteur de dimmensionnement | 1,15 | |
| | | Methode de dimensionnement | | Unitaire detente directe |
| | | Methode debit d'air | | Sensible uniquement |
| | Solarie | Inclure tous les batiments dans les calculs d'omb | | oui |
| | | Modeliser les reflexions et les reflexions des mas | | non |
| **ECLAIREMENT NATUREL** | Options de calcul | type de rapport | | Cartographie |
| | | Predefinition | | rapide |
| | | Hauteur plan de travail | 0,75 | |

# Annexe 4

## Choix des valeurs de la consommation selon le logiciel PHPP. Comparaison entre modèle Base et Variante idéale

Nous avons voulu vérifier le comportement de la maison Base dans le logiciel de la Passivhaus Institut, le PHPP (Passive House Planning Pack). Cette modélisation montre que selon le PHPP en climat très chaud les consommations nécessaires exclusivement pour refroidir l'air et l'assainir sont de 191 kWh/m2an. Cette consommation ne tient pas en compte l'énergie nécessaire pour le déshumidifier, un poste non négligeable dans les consommations de la maison, ni tient en compte non plus les besoins des électroménagers autre que la climatisation. En effet la valeur de 191 kWh/m2an passe a une consommation de 437 kWh/m2an qui est très loin de la valeur annoncée de 237 kWh/m2an de la maison Base exprimés par le modèle DB/E+. Notre objectif n'est pas de comparer la pertinence de chaque logiciel mais de trouver les valeurs des variations provoque par des modifications dans le modèle (actions architecturales) des consommations constatées dans un même logiciel.

Nous avons aussi comparé la consommation de notre modèle Base avec le comportement d'un modèle variante idéale qui intègre dans les paramètres la liste d'actions pour la saison S6 (prépondérante à Dubaï) :

1- La réduction de la température extérieure par ombrage, humidification, ou végétalisation.
2- Ventilateurs intérieurs
3- Réduction des ouvertures de la façade
4- Maîtrise de l'étanchéité à l'air avec des valeurs performantes
5- Vitrages solaires G<0,25
6- Protection extérieure par encadrement de 1 m ou par brises-soleil de densité moyenne
7- Décharge nocturne radiative
8- Rideaux réfléchissants
9- Suppression des ponts thermiques
10- Isolation forte de l'enveloppe 20-30cm et du plancher bas du RdC
11- Augmentation substantielle de la masse thermique
12- Vitrée nord de préférence

Avec cette variante, et ses actions architecturales nous arrivons à réduire la consommation de la maison à une valeur de 29 kWh/m2an pour refroidir l'air et l'assainir et une consommation totale, y compris la déshumidification et les électroménagers de 85 kWh/m2an, ce qui représente entre 15% et 20% de la consommation initiale.

Les pages suivantes montrent le modèle du climat de Dubaï, les tableaux des surfaces de la maison Base et les tableaux récapitulatifs des consommations de la maison Base et la maison Variante idéale.

**Conception bâtiment passif:** **DONNES CLIMATIQUES**

Bâtiment: EXPERIMENTAL MODEL PASSIVEHOT

Climat selectionné: DUBAI,UAE

Données mensuelles: Données personnelles - DUBAI,UAE

Données annuelles:

Utiliser données clima. annuelles: Non

Résultats:

Région: Données personnelles

Données climatiques: Données personnelles - DUBAI,UAE

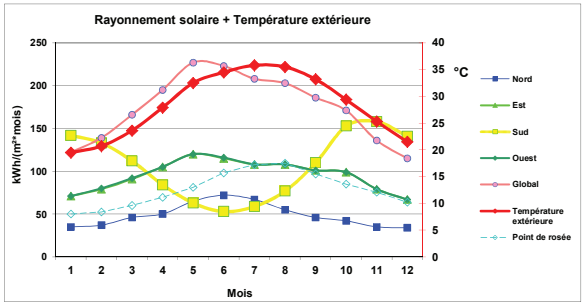
Station météorologique (Alti. au-dessus NZ): 83,7 m

Emplacement du bâtiment (Alti. au-dessus NZ): m

| | | |
|---|---|---|
| Besoin de chauffage | 0,0 | kWh/(m²a) |
| Puissance de chauffage | 0,0 | W/m² |
| Energie primaire | 463,7 | kWh/(m²a) |

Report dans la méthode annuelle (AnChauffage)

| | | |
|---|---|---|
| $H_T$ | 0 | d/a |
| $G_t$ | 0 | kKh/a |
| nord | 0 | kWh/(m²a) |
| est | 0 | kWh/(m²a) |
| sud | 0 | kWh/(m²a) |
| ouest | 0 | kWh/(m²a) |
| horizontal | 0 | kWh/(m²a) |




| Mois | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Puissance de chauffage | | Puissance frigorifique | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Jours | 31 | 28 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 | Cond. météo. 1 | Cond. météo. 2 | Cond. météo. 1 | Cond. météo. 2 |
| Paramètre pour températures du sol calculées avec le PHPP: | Données personnelles - DUBAI,UAE | Latitude ° | 25,2 | Longitude ° | 55,3 | Altitude au-dessus NZ m | 84 | fluctuation quotidienne température été (K) | | 8,9 | Données de rayonnement: | kWh/(m²mois) | Rayonnement: W/m² | | Rayonnement: W/m² | |
| Déphasage mois | Température extérieure | 19,5 | 20,7 | 23,6 | 27,9 | 32,5 | 34,5 | 35,8 | 35,5 | 33,2 | 29,4 | 25,3 | 21,5 | 16,3 | 19,6 | 38,6 | 36,4 |
| 0,60 | Nord | 35 | 37 | 46 | 50 | 65 | 72 | 67 | 55 | 46 | 42 | 35 | 34 | 15 | 10 | 101 | 70 |
| Atténuation | Est | 71 | 79 | 91 | 105 | 120 | 115 | 108 | 108 | 101 | 99 | 79 | 67 | 50 | 27 | 173 | 161 |
| -0,31 | Sud | 142 | 133 | 112 | 84 | 63 | 53 | 59 | 77 | 110 | 153 | 158 | 141 | 102 | 45 | 110 | 184 |
| Profondeur m | Ouest | 71 | 80 | 92 | 105 | 120 | 116 | 108 | 108 | 101 | 99 | 79 | 67 | 47 | 27 | 173 | 161 |
| 1,00 | Global | 122 | 139 | 166 | 195 | 227 | 223 | 208 | 203 | 186 | 171 | 136 | 115 | 93 | 53 | 341 | 302 |
| - | Point de rosée | 8,0 | 8,4 | 9,6 | 11,1 | 13,0 | 15,7 | 17,2 | 17,5 | 15,5 | 13,6 | 12,1 | 10,2 | | | 20,5 | 20,5 |
| 1,00 | Température du ciel | 3,7 | 3,8 | 7,8 | 10,9 | 13,1 | 15,2 | 21,0 | 20,5 | 14,6 | 9,6 | 7,5 | 5,9 | | | 18,9 | 20,5 |
| | Température du sol | 23,7 | 23,4 | 23,6 | 24,2 | 25,1 | 26,1 | 26,8 | 27,1 | 26,9 | 26,3 | 25,4 | 24,4 | 21,3 | 21,3 | 29,2 | 29,2 |
| | Commentaire: | | Passipedia, satellite data | | | | | | | | | | | | | | |

## Saisie des surfaces

Tri: COMME LISTE

| N° de surface | Dénomination de la paroi | N° de groupe | Attribution au groupe | Quantité | x ( | a [m] | x | b [m] | + | Calcul personnel [m²] | - | Déduction personnelle [m²] | - | Déduction fenêtres [m²] | ) = | Surface [m²] | Choix de la composition de l'élément de construction / système constructif certifié | Valeur U [W/(m²K)] | Ecart par rapport au nord | Inclinaison par rapport à l'horizontale | Orientation | Facteur de réduction ombrage | Absorption à l'extérieur | Emission à l'extérieur |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Surface de référence énergétique | 1 | Surface de réf. énergétique | 1 | x ( | | x | | + | 215,00 | - | | | | ) = | 215,0 | | | | | | | | |
| | Fenêtre nord | 2 | Fenêtre nord | | | | | | | | | | | | | 9,8 | Valeur de la feuille "Fenêtre" | 3,639 | | | | | | |
| | Fenêtre est | 3 | Fenêtre est | | | | | | | | | | | | | 12,4 | Valeur de la feuille "Fenêtre" | 3,664 | | | | | | |
| | Fenêtre sud | 4 | Fenêtre sud | | | Uniquement saisir dans la feuille "Fenêtres" ! | | | | | | | | | | 7,5 | Valeur de la feuille "Fenêtre" | 3,680 | | | | | | |
| | Fenêtre ouest | 5 | Fenêtre ouest | | | | | | | | | | | | | 12,4 | Valeur de la feuille "Fenêtre" | 3,664 | | | | | | |
| | Fenêtre horizontale | 6 | Fenêtre horizontale | | | | | | | | | | | | | 0,0 | Valeur de la feuille "Fenêtre" | 0,000 | | | | | | |
| | Porte extérieure | 7 | Porte extérieure | 1 | x ( | 2,00 | x | 1,00 | + | | - | | ) - | | = | 2,0 | Valeur U porte extérieure | 1,80 | | | | | | |
| 1 | Paroi extérieure sud | 8 | Paroi contact l'air extérieur | 1 | x ( | 6,35 | x | 10,50 | + | | - | | ) - | 7,5 | = | 59,2 | 01ud external wall | 0,283 | 180 | 90 | Sud | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 2 | Paroi extérieure nord | 8 | Paroi contact l'air extérieur | 1 | x ( | 6,35 | x | 10,50 | + | | - | | ) - | 9,8 | = | 56,9 | 01ud external wall | 0,283 | 0 | 90 | Nord | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 3 | Paroi extérieure ouest | 8 | Paroi contact l'air extérieur | 1 | x ( | 6,35 | x | 12,50 | + | | - | | ) - | 12,4 | = | 67,0 | 01ud external wall | 0,283 | 270 | 90 | Ouest | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 4 | Paroi extérieure est | 8 | Paroi contact l'air extérieur | 1 | x ( | 6,35 | x | 12,50 | + | | - | | ) - | 12,4 | = | 67,0 | 01ud external wall | 0,283 | 90 | 90 | Est | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 5 | Toiture | 10 | Toiture/plancher contact air ext. | 1 | x ( | 10,50 | x | 12,50 | + | | - | | ) - | 0,0 | = | 131,3 | 02ud Toiture | 0,155 | 0 | 0 | Hor | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 6 | PbRdC-dallage s/terreplein | 11 | Dalle sol/plancher sur cave | 1 | x ( | 10,50 | x | 12,50 | + | | - | | ) - | 0,0 | = | 131,3 | 03ud Plancher bas sur terre plein | 1,725 | 0 | 0 | Hor | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

| Nombre | Description | Ecart par rapport à l'orientation nord | Inclinaison par rapport à l'horizontale | Orientation | Dimensions brutes de la baie: Largeur | Dimensions brutes de la baie: Hauteur | Montage: Sélection de la feuille "Surfaces" | Vitrage: Sélection de la feuille "Composants" | Châssis: Sélection de la feuille "Composants" | Facteur solaire (valeur g): Rayonnement perpendiculaire | Valeur U: Vitrage | Valeur U: Châssis (moyenne) | Ψ-intercalaire: $\Psi_{intercalaire}$ (moyenne) | Liaison avec paroi: gauche | droite | bas | haut | $\Psi_{liaison\ avec\ paroi}$ (moyenne) | Résultats: Surface de fenêtre | Surface de vitrage | Valeur U fenêtre | Clair de vitrage par fenêtre | Pertes par transmission | Apports solaires |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Degré | Degré | | m | m | | Tri: COMME LISTE | Tri: COMME LISTE | - | W/(m²K) | W/(m²K) | W/(mK) | W/(mK) respectivement 1/0 | | | | W/(mK) | m² | m² | W/(m²K) | % | kWh/a | kWh/a |
| 4 | sud petites | 180 | 90 | sud | 0,980 | 1,340 | 1-Paroi extérieure sud | 03ud Double vitrage bas qualité | 01ud Passivhot Aluminium with thermal br | 0,50 | 2,50 | 5,00 | 0,049 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,005 | 5,3 | 2,93 | 3,76 | 56% | 2 | 0 |
| 1 | sud grandes | 180 | 90 | sud | 1,690 | 1,340 | 1-Paroi extérieure sud | 03ud Double vitrage bas qualité | 01ud Passivhot Aluminium with thermal br | 0,50 | 2,50 | 5,00 | 0,049 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,005 | 2,3 | 1,46 | 3,50 | 65% | 1 | 0 |
| 4 | nord petites | 0 | 90 | nord | 0,980 | 1,340 | 2-Paroi extérieure nord | 03ud Double vitrage bas qualité | 01ud Passivhot Aluminium with thermal br | 0,50 | 2,50 | 5,00 | 0,049 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,005 | 5,3 | 2,93 | 3,76 | 56% | 2 | 0 |
| 2 | nord grandes | 0 | 90 | nord | 1,690 | 1,340 | 2-Paroi extérieure nord | 03ud Double vitrage bas qualité | 01ud Passivhot Aluminium with thermal br | 0,50 | 2,50 | 5,00 | 0,049 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,005 | 4,5 | 2,93 | 3,50 | 65% | 2 | 0 |
| 6 | ouest petites | 270 | 90 | ouest | 0,980 | 1,340 | 3-Paroi extérieure ouest | 03ud Double vitrage bas qualité | 01ud Passivhot Aluminium with thermal br | 0,50 | 2,50 | 5,00 | 0,049 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,005 | 7,9 | 4,39 | 3,76 | 56% | 3 | 0 |
| 2 | ouest grandes | 270 | 90 | ouest | 1,690 | 1,340 | 3-Paroi extérieure ouest | 03ud Double vitrage bas qualité | 01ud Passivhot Aluminium with thermal br | 0,50 | 2,50 | 5,00 | 0,049 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,005 | 4,5 | 2,93 | 3,50 | 65% | 2 | 0 |
| 6 | est petites | 90 | 90 | est | 0,980 | 1,340 | 4-Paroi extérieure est | 03ud Double vitrage bas qualité | 01ud Passivhot Aluminium with thermal br | 0,50 | 2,50 | 5,00 | 0,049 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,005 | 7,9 | 4,39 | 3,76 | 56% | 3 | 0 |

### 1- Modèle PHPP de la maison Base

Maison type moyenne classe des pays GCC : Arabie Saoudite ou les Emirats Arabs Unis Isolation de 10 cm demandé selon la reglementation - Saudi building Code ou Dubaï Green Code- la toiture et pas d'isolation entre le sol et la maison. Ventilation simple sans recuperation de chaleur, fenêtres de basse qualité en double vitrage, Ug=2,5 et g=0,45 avec une protection par casquette de 50cm

# Conception bâtiment passif

| | |
|---|---|
| Projet: | EXPERIMENTAL MODEL PASSIVEHOT |
| Adresse: | |
| Code postal / localité: | |
| Pays: | MIDDLE EAST |
| Type de bâtiment: | Maison INDIVIDUELLE / Habitation |
| Climat: | DUBAI,UAE — Altitude de l'emplacement du bâtiment (m au-dessus NZ): – |
| Maître(s) de l'ouvrage: | MIDDLE CLASS FAMILY |
| Adresse: | |
| Code postal / localité: | |
| Architecte: | Arch-Ing Ferran YUSTA GARCIA |
| Adresse: | 740 Cours de la Liberation |
| Code postal / localité: | 33416 Talence-Bordeaux Metropole, France |
| Bureau d'étu. fluides: | |
| Adresse: | |
| Code postal / localité: | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Année de construction: | 2017 | Température intérieure en hiver: | 19,0 | °C | Vol. ext. du bâtiment $V_e$: | 781,0 |
| Nombre de logements: | 1 | Température intérieure en été: | 26,0 | °C | Refroidissement mécanique: | x |
| Nombre d'occupants: | 6,1 | Apports de chaleur internes en hiver: | 2,1 | W/m² | | |
| Capacité therm. surf.: | 204 | Wh/K / m² surface habitable idem été: | 2,1 | W/m² | | |

Caractéristiques du bâtiment par rapport à la surface de référence de l'énergie et de l'année

| | | | | Critères | Respectés?* |
|---|---|---|---|---|---|
| | Surface de référence énergétique: | 215,0 | m² | | |
| **Chauffer** | Besoin de chaleur de chauffage | **0** | **kWh/(m²a)** | 15 kWh/(m²a) | **oui** |
| | Puissance de chauffage | **0** | **W/m²** | 10 W/m² | **oui** |
| **Refroidir** | Demande totale de refroidissement | **191** | **kWh/(m²a)** | 45 kWh/(m²a) | **non** |
| | Puissance de refroidissement | **62** | **W/m²** | 10 W/m² | **non** |
| | Fréquence de surchauffe (> 26 °C) | | % | - | - |
| **Energie primaire** | Chauffer, refroidir, électricité auxiliaire / Déhumidification, ECS, éclairage, électricité domestique | **454** | **kWh/(m²a)** | 120 kWh/(m²a) | **non** |
| | ECS, chauffage et électricité auxiliaire | 30 | kWh/(m²a) | - | - |
| | Réduction énergie prim. par la prod. d'élec. solaire | | kWh/(m²a) | - | - |
| **Etanchéité à l'air** | Test d'infiltrométrie $n_{50}$ | **2,0** | **1/h** | 0,6 1/h | **non** |

* cellule vide: données manquantes; '-': aucune exigence

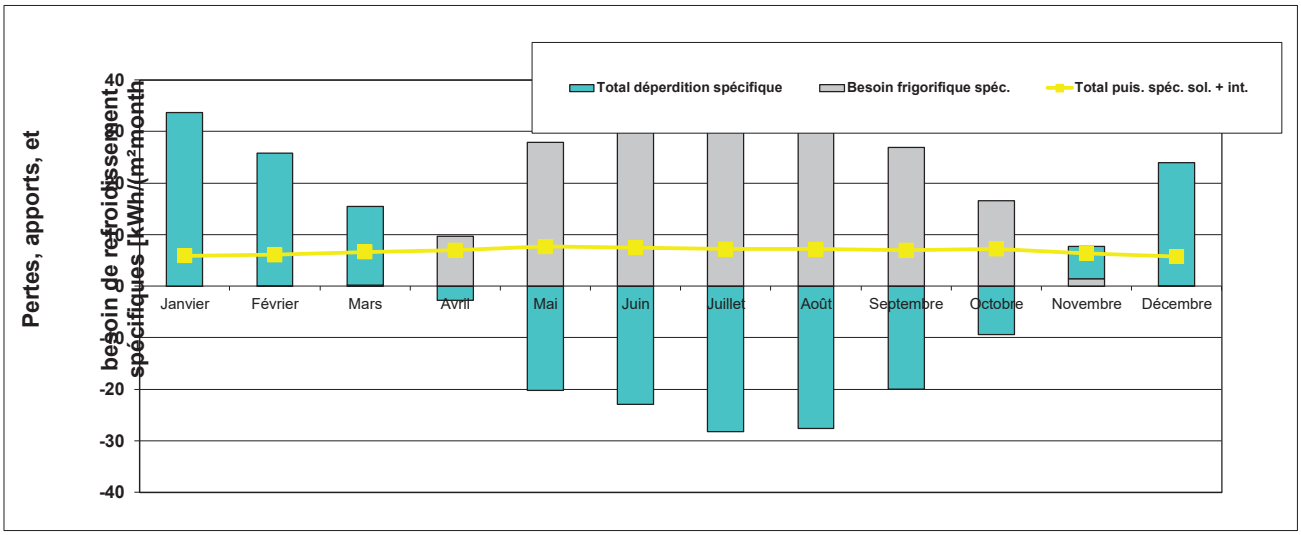
| | |
|---|---|
| **Bâtiment passif?** | **non** |

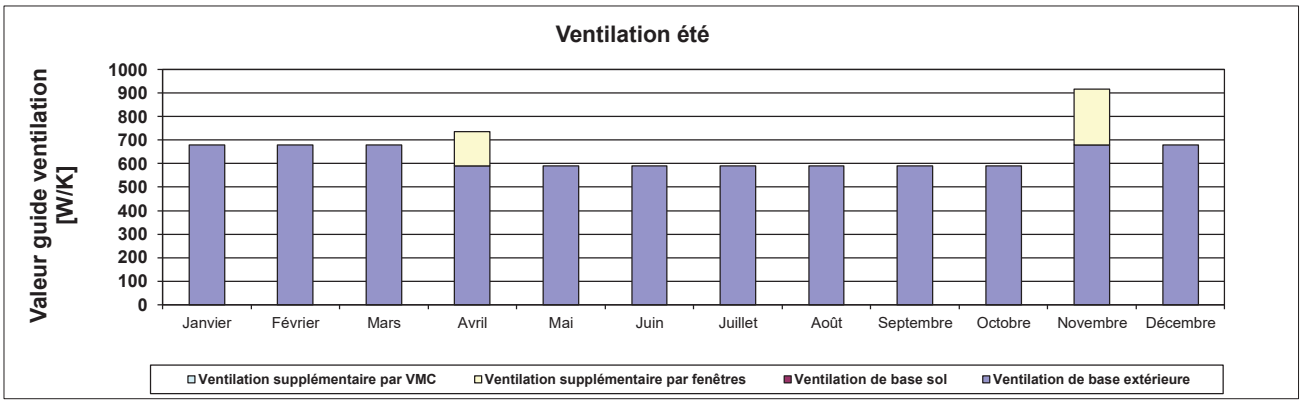
**Conception bâtiment passif:** # REFROIDISSEMENT: BESOIN FRIGORIFIQUE

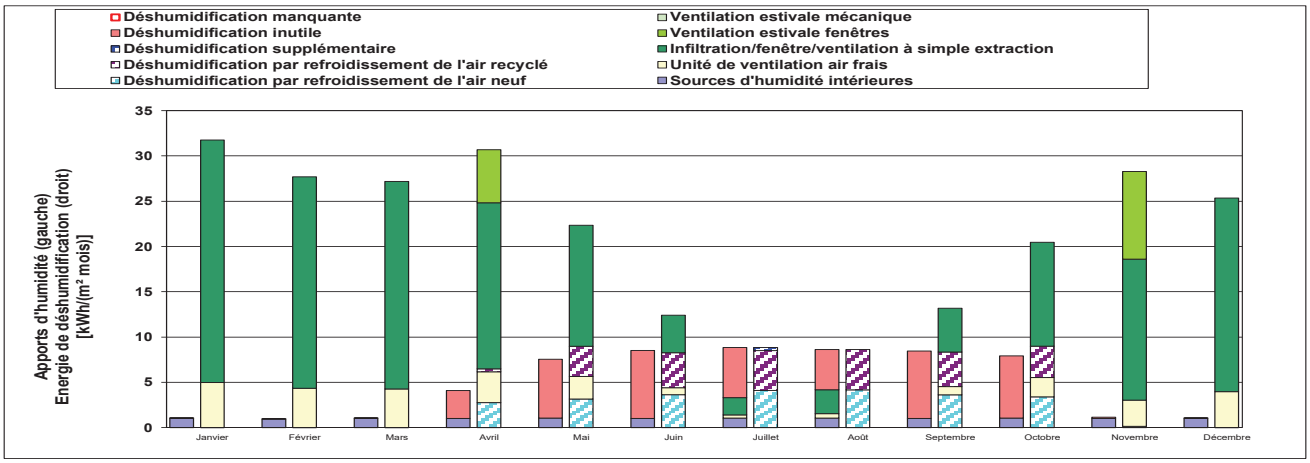
Climat: DUBAI,UAE
Projet: EXPERIMENTAL MODEL PASSIVEHOT

Température intérieure: 26 °C
Type de bâtiment: Maison INDIVIDUELLE / Habitation
Surface de référence énergétique $A_{RE}$ : 215 m²

| | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre | Année | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Degré heures extérieur | 5,5 | 4,2 | 2,4 | -0,7 | -4,0 | -5,3 | -6,7 | -6,4 | -4,4 | -1,7 | 1,2 | 4,0 | -12 | kKh |
| Degré heures sol | 1,7 | 1,7 | 1,8 | 1,3 | 0,6 | -0,1 | -0,6 | -0,8 | -0,7 | -0,2 | 0,5 | 1,2 | 6 | kKh |
| Déperditions extérieures | 4631 | 3448 | 1813 | -974 | -3844 | -4925 | -5945 | -5756 | -4149 | -1911 | 644 | 3254 | -13713 | kWh |
| Déperditions sol | 387 | 396 | 407 | 290 | 146 | -13 | -135 | -187 | -150 | -47 | 103 | 265 | 1463 | kWh |
| Déperdit. ventil. estivale | 2234 | 1691 | 1055 | 98 | -659 | 0 | 0 | 0 | 0 | -50 | 607 | 1638 | 6614 | kWh |
| Total déperdition spécifique | 33,7 | 25,7 | 15,2 | -2,7 | -20,3 | -23,0 | -28,3 | -27,6 | -20,0 | -9,3 | 6,3 | 24,0 | -26,2 | kWh/m² |
| Puiss. solaires nord | 61 | 64 | 80 | 87 | 113 | 125 | 117 | 96 | 80 | 73 | 61 | 59 | 1017 | kWh |
| Puiss. solaires est | 171 | 190 | 219 | 252 | 288 | 276 | 259 | 259 | 243 | 238 | 190 | 161 | 2746 | kWh |
| Puiss. solaires sud | 132 | 123 | 104 | 78 | 58 | 49 | 55 | 71 | 102 | 142 | 146 | 131 | 1191 | kWh |
| Puiss. solaires ouest | 171 | 192 | 221 | 252 | 288 | 279 | 259 | 259 | 243 | 238 | 190 | 161 | 2753 | kWh |
| Puiss. solaires horizon. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | kWh |
| Puiss. solaires opaque | 405 | 432 | 472 | 507 | 562 | 547 | 519 | 519 | 509 | 522 | 448 | 389 | 5830 | kWh |
| Apports internes | 336 | 303 | 336 | 325 | 336 | 325 | 336 | 336 | 325 | 336 | 325 | 336 | 3955 | kWh |
| Total puis. spéc. sol. + int. | 5,9 | 6,1 | 6,7 | 7,0 | 7,7 | 7,4 | 7,2 | 7,2 | 7,0 | 7,2 | 6,3 | 5,8 | 81,4 | kWh/m² |
| Degré d'utilis. déperditions | 18% | 23% | 42% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 77% | 24% | 390% | |
| Besoin frigorifique | 3 | 8 | 50 | 2087 | 6003 | 6539 | 7624 | 7483 | 5800 | 3557 | 313 | 8 | 39476 | kWh |
| Besoin frigorifique spéc. | **0,0** | **0,0** | **0,2** | **9,7** | **27,9** | **30,4** | **35,5** | **34,8** | **27,0** | **16,5** | **1,5** | **0,0** | **183,6** | kWh/m² |
| Besoin de déshumidification s | **0,0** | **0,0** | **0,0** | **0,0** | **0,0** | **0,0** | **3,3** | **4,2** | **0,0** | **0,0** | **0,0** | **0,0** | **7,5** | kWh/m² |
| Part sensible | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 91% | 89% | 100% | 100% | 100% | 100% | 96% | |



## 2- Modèle PHPP de la maison «Variante Ideale»

Maison optimale selon la méthode des saisons climatiques située dans les Émirats Arabes Unis : Isolation de 300 mm sur la toiture, 200 mm dans les murs extérieurs 100 mm entre le sol et la maison. Ventilation en double flux avec récupération d'énergie, fenêtres de bonne qualité en double vitrage, Ug=1 et g=0,25 avec une protection par casquette de 50 cm et une protection supplémentaire permanente de 70%. Aucune ventilation transversale lorsque la température extérieure dépasse le seuil de confort.

# Conception bâtiment passif

| | |
|---|---|
| Projet: | EXPERIMENTAL MODEL PASSIVEHOT - VARIANTE OPTIMALE |
| Adresse: | |
| Code postal / localité: | |
| Pays: | MIDDLE EAST |
| Type de bâtiment: | Maison INDIVIDUELLE / Habitation |
| Climat: | DUBAI,UAE — Altitude de l'emplacement du bâtiment (m au-dessus NZ): – |
| Maître(s) de l'ouvrage: | MIDDLE CLASS FAMILY |
| Adresse: | |
| Code postal / localité: | |
| Architecte: | Arch-Ing Ferran YUSTA GARCIA |
| Adresse: | 740 Cours de la Liberation |
| Code postal / localité: | 33416 Talence-Bordeaux Metropole, France |
| Bureau d'étu. fluides: | |
| Adresse: | |
| Code postal / localité: | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Année de construction: | 2017 | Température intérieure en hiver: | 19,0 | °C | Vol. ext. du bâtiment $V_e$: | 645,0 |
| Nombre de logements: | 1 | Température intérieure en été: | 31,0 | °C | Refroidissement mécanique: | x |
| Nombre d'occupants: | 6,1 | Apports de chaleur internes en hiver: | 2,1 | W/m² | | |
| Capacité therm. surf.: | 204 Wh/K / m² surface habitable | idem été: | 2,1 | W/m² | | |

Caractéristiques du bâtiment par rapport à la surface de référence de l'énergie et de l'année

| | | | | Critères | Respectés?* |
|---|---|---|---|---|---|
| | Surface de référence énergétique: | 215,0 | m² | | |
| **Chauffer** | Besoin de chaleur de chauffage | **0** | **kWh/(m²a)** | 15 kWh/(m²a) | **oui** |
| | Puissance de chauffage | **0** | **W/m²** | 10 W/m² | **oui** |
| **Refroidir** | Demande totale de refroidissement | **29** | **kWh/(m²a)** | 45 kWh/(m²a) | **oui** |
| | Puissance de refroidissement | **11** | **W/m²** | 10 W/m² | **non** |
| | Fréquence de surchauffe (> 31 °C) | | % | - | - |
| **Energie primaire** | Chauffer, refroidir, électricité auxiliaire / Déhumidification, ECS, éclairage, électricité domestique | **85** | **kWh/(m²a)** | 120 kWh/(m²a) | **oui** |
| | ECS, chauffage et électricité auxiliaire | 27 | kWh/(m²a) | - | - |
| | Réduction énergie prim. par la prod. d'élec. solaire | | kWh/(m²a) | - | - |
| **Etanchéité à l'air** | Test d'infiltrométrie $n_{50}$ | **2,0** | **1/h** | 0,6 1/h | **non** |

* cellule vide: données manquantes; '-': aucune exigence

| | |
|---|---|
| **Bâtiment passif?** | **non** |

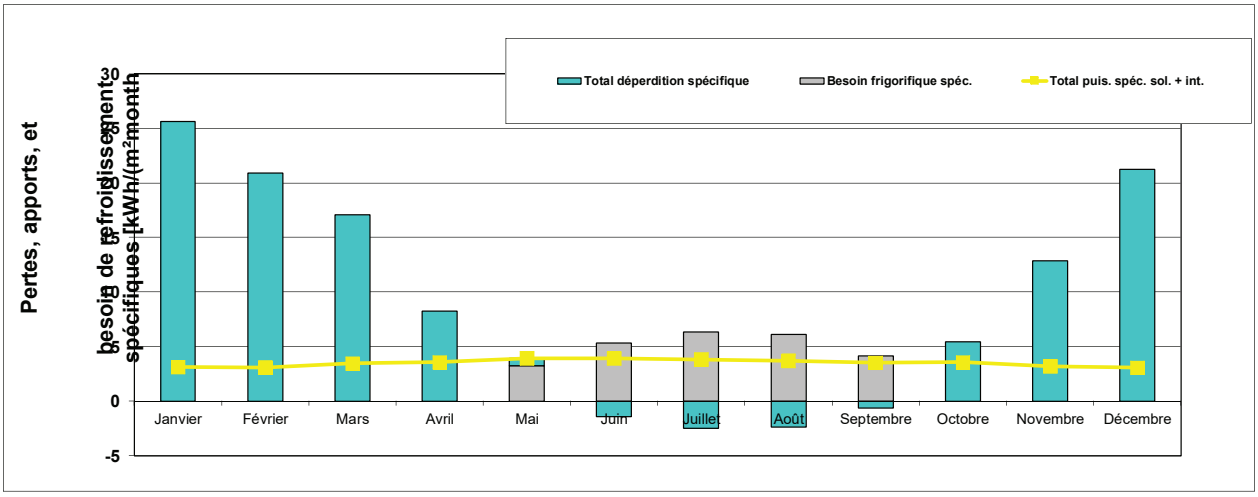
**Conception bâtiment passif:**

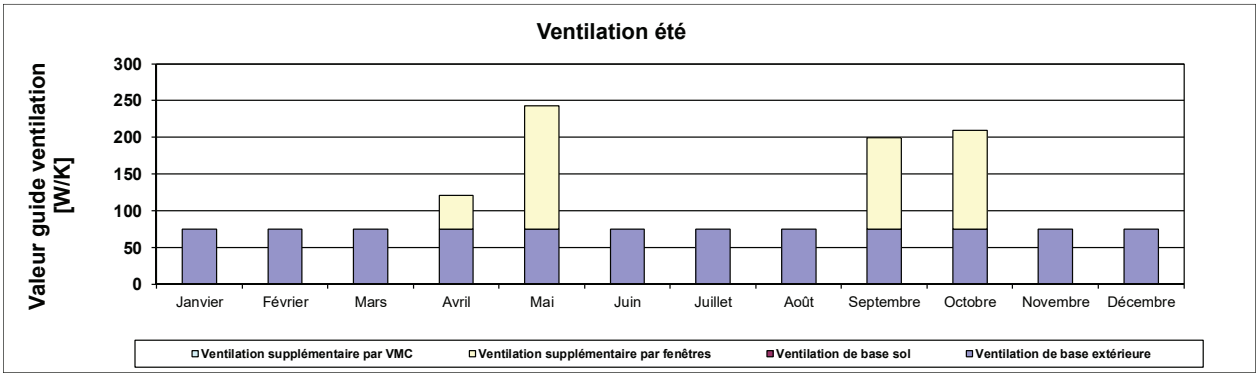
# REFROIDISSEMENT: BESOIN FRIGORIFIQUE

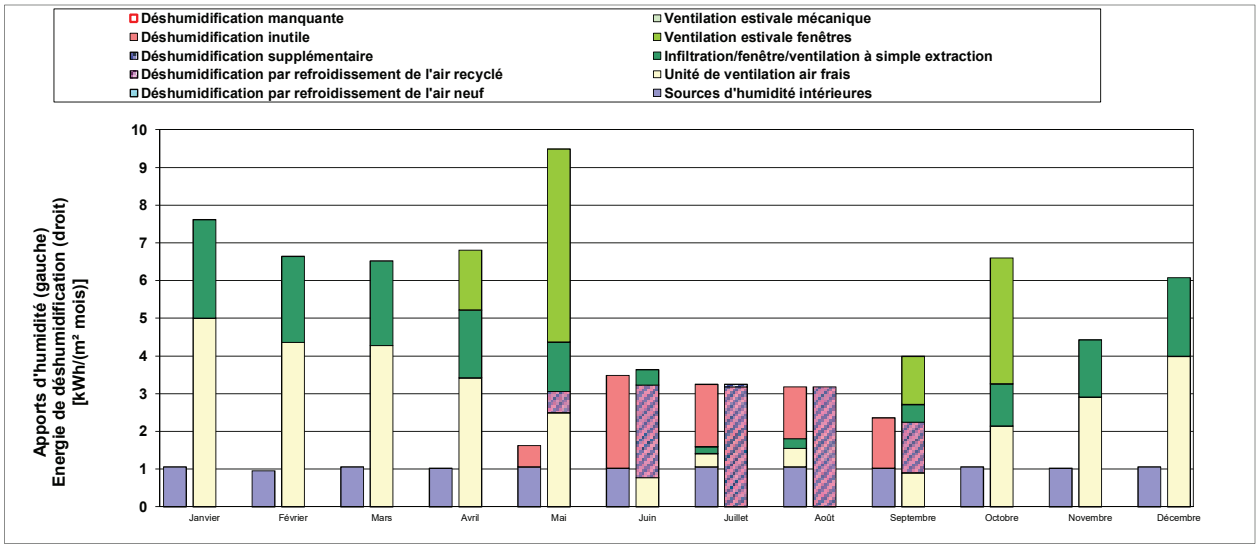
Climat: DUBAI,UAE
Projet: EXPERIMENTAL MODEL PASSIVEHOT - VARIANTE OPTIMALE

Température intérieure: 31 °C
Type de bâtiment: Maison INDIVIDUELLE / Habitation
Surface de référence énergétique $A_{RE}$ : 215 m²

| | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre | Année | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Degré heures extérieur | 9,5 | 7,8 | 6,5 | 3,2 | 0,1 | -1,4 | -2,7 | -2,4 | -0,5 | 2,4 | 5,2 | 8,0 | 36 | kKh |
| Degré heures sol | 3,3 | 3,6 | 4,0 | 3,3 | 2,3 | 1,0 | -0,1 | -0,8 | -0,9 | -0,3 | 0,8 | 2,1 | 18 | kKh |
| Déperditions extérieures | 1590 | 1301 | 1057 | 490 | -76 | -326 | -533 | -493 | -167 | 329 | 822 | 1329 | 5324 | kWh |
| Déperditions sol | 79 | 87 | 97 | 80 | 56 | 23 | -4 | -20 | -21 | -7 | 19 | 52 | 442 | kWh |
| Déperdit. ventil. estivale | 3843 | 3111 | 2512 | 1204 | 166 | 0 | 0 | 0 | 57 | 848 | 1927 | 3182 | 16850 | kWh |
| Total déperdition spécifique | 25,6 | 20,9 | 17,1 | 8,2 | 0,7 | -1,4 | -2,5 | -2,4 | -0,6 | 5,4 | 12,9 | 21,2 | 105,2 | kWh/m² |
| Puiss. solaires nord | 90 | 95 | 119 | 129 | 167 | 185 | 173 | 142 | 119 | 108 | 90 | 88 | 1504 | kWh |
| Puiss. solaires est | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | kWh |
| Puiss. solaires sud | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | kWh |
| Puiss. solaires ouest | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | kWh |
| Puiss. solaires horizon. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | kWh |
| Puiss. solaires opaque | 249 | 266 | 291 | 314 | 346 | 334 | 317 | 320 | 315 | 323 | 276 | 238 | 3588 | kWh |
| Apports internes | 336 | 303 | 336 | 325 | 336 | 325 | 336 | 336 | 325 | 336 | 325 | 336 | 3955 | kWh |
| Total puis. spéc. sol. + int. | 3,1 | 3,1 | 3,5 | 3,6 | 4,0 | 3,9 | 3,8 | 3,7 | 3,5 | 3,6 | 3,2 | 3,1 | 42,1 | kWh/m² |
| Degré d'utilis. déperditions | 12% | 15% | 20% | 43% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 66% | 25% | 15% | 16% | |
| Besoin frigorifique | 0 | 0 | 0 | 0 | 703 | 1147 | 1362 | 1311 | 889 | 1 | 0 | 0 | 5412 | kWh |
| Besoin frigorifique spéc. | **0,0** | **0,0** | **0,0** | **0,0** | **3,3** | **5,3** | **6,3** | **6,1** | **4,1** | **0,0** | **0,0** | **0,0** | **25,2** | kWh/m² |
| Besoin de déshumidification | **0,0** | **0,0** | **0,0** | **0,0** | **0,0** | **0,0** | **1,6** | **1,8** | **0,0** | **0,0** | **0,0** | **0,0** | **3,4** | kWh/m² |
| Part sensible | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 80% | 77% | 100% | 100% | 100% | 100% | 88% | |



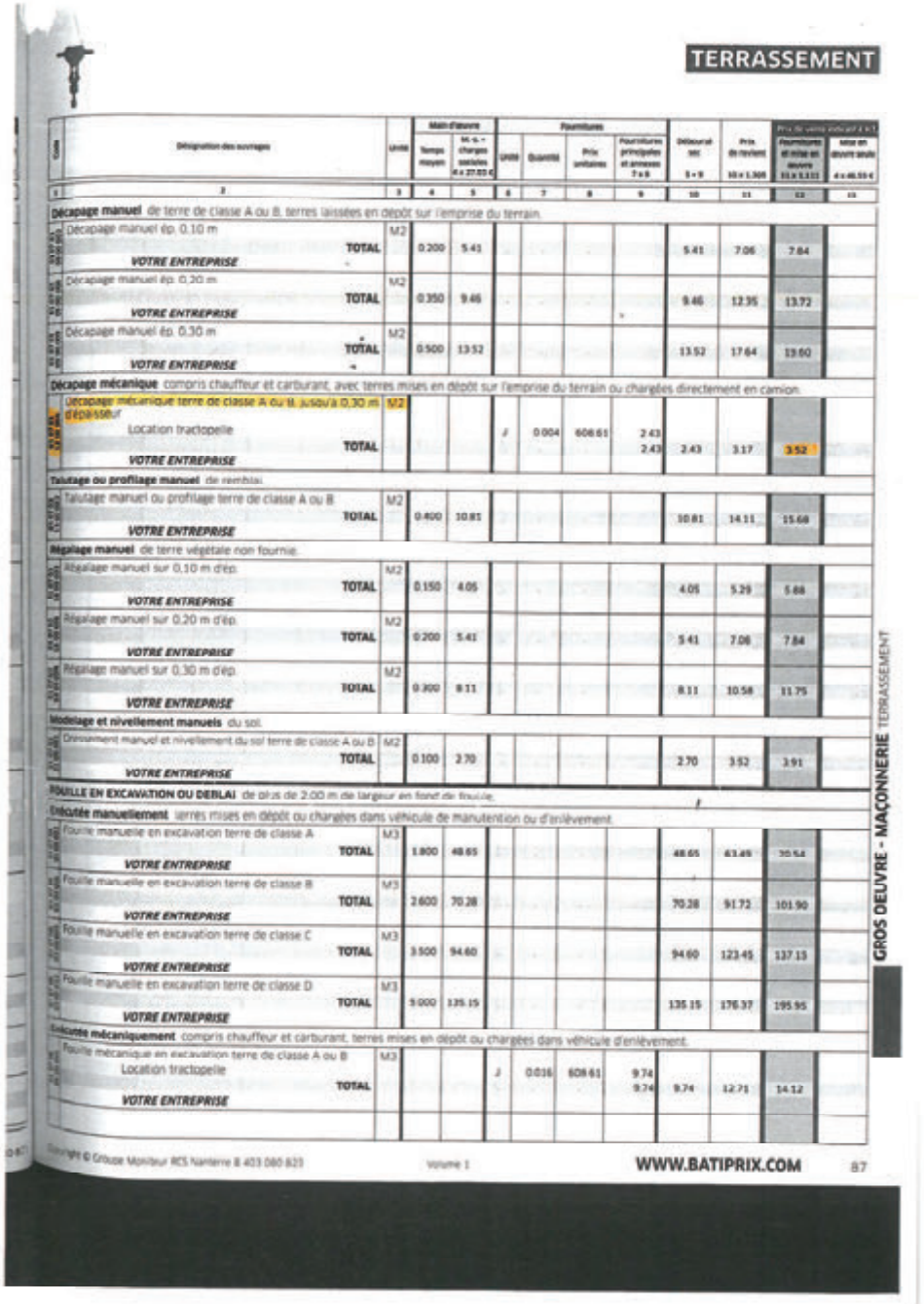



# Annexe 5
## Détail des Valeurs de l'etude de prix de la maison Base

L'étude de prix de la maison, modèle de base et variantes modifiées a été chiffrée suivant les prix de construction français récents. Les prix unitaires sont issus du croisement de divers devis de construction en 2017 et 2018 dans le département de la Gironde et à l'appui de la collection 2018 des prix du bâtiment en France : Batiprix. L'etude de prix s'est structuré suivant les schémas de chiffrage en France, par lot de corps d'états, quantitatif et prix unitaires appliqués aux quantités résultantes des métrés de la maison. L'alotissement du chiffrage est organisé selon les pratiques courantes des opérations dites «par lots séparées». Les métrés sont issue de un travail classique d'architecte maître d'oeuvre et avec les plans CAD de la maison, plans coupes et élévations pour la quantification des éléments.

Ci suivant, les extraits quelques extraits de la recherche méthodique des prix unitaires dans la collection Batiprix 2018 ainsi que le chiffrage complet de la maison avec son organisation par lots.



TERRASSEMENT

| Code | Désignation des ouvrages | Unité | Main d'œuvre : Temps moyen | Main d'œuvre : M.-O. + charges sociales 40 x 27.03 € | Fournitures : Unité | Fournitures : Quantité | Fournitures : Prix unitaires | Fournitures : Fournitures principales et annexes 7 x 8 | Déboursé sec 9 + 9 | Prix de revient 10 x 1.305 | Prix de vente indicatif € H.T. : Fournitures et mise en œuvre 11 x 1.111 | Prix de vente indicatif € H.T. : Mise en œuvre seule 4 x 46.50 € |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| | **Décapage manuel** de terre de classe A ou B, terres laissées en dépôt sur l'emprise du terrain. | | | | | | | | | | | |
| | Décapage manuel ép. 0.10 m TOTAL VOTRE ENTREPRISE | M2 | 0.200 | 5.41 | | | | | 5.41 | 7.06 | 7.84 | |
| | Décapage manuel ép. 0.20 m TOTAL VOTRE ENTREPRISE | M2 | 0.350 | 9.46 | | | | | 9.46 | 12.35 | 13.72 | |
| | Décapage manuel ép. 0.30 m TOTAL VOTRE ENTREPRISE | M2 | 0.500 | 13.52 | | | | | 13.52 | 17.64 | 19.60 | |
| | **Décapage mécanique** compris chauffeur et carburant, avec terres mises en dépôt sur l'emprise du terrain ou chargées directement en camion. | | | | | | | | | | | |
| | Décapage mécanique terre de classe A ou B, jusqu'à 0.30 m d'épaisseur Location tractopelle TOTAL VOTRE ENTREPRISE | M2 | | | / | 0.004 | 608.61 | 2.43 2.43 | 2.43 | 3.17 | 3.52 | |
| | **Talutage ou profilage manuel** de remblai. | | | | | | | | | | | |
| | Talutage manuel ou profilage terre de classe A ou B TOTAL VOTRE ENTREPRISE | M2 | 0.400 | 10.81 | | | | | 10.81 | 14.11 | 15.68 | |
| | **Régalage manuel** de terre végétale non fournie. | | | | | | | | | | | |
| | Régalage manuel sur 0.10 m d'ép. TOTAL VOTRE ENTREPRISE | M2 | 0.150 | 4.05 | | | | | 4.05 | 5.29 | 5.88 | |
| | Régalage manuel sur 0.20 m d'ép. TOTAL VOTRE ENTREPRISE | M2 | 0.200 | 5.41 | | | | | 5.41 | 7.06 | 7.84 | |
| | Régalage manuel sur 0.30 m d'ép. TOTAL VOTRE ENTREPRISE | M2 | 0.300 | 8.11 | | | | | 8.11 | 10.58 | 11.75 | |
| | **Modelage et nivellement manuels** du sol. | | | | | | | | | | | |
| | Dressement manuel et nivellement du sol terre de classe A ou B TOTAL VOTRE ENTREPRISE | M2 | 0.100 | 2.70 | | | | | 2.70 | 3.52 | 3.91 | |
| | **FOUILLE EN EXCAVATION OU DEBLAI** de plus de 2.00 m de largeur en fond de fouille. | | | | | | | | | | | |
| | **Exécutée manuellement** terres mises en dépôt ou chargées dans véhicule de manutention ou d'enlèvement. | | | | | | | | | | | |
| | Fouille manuelle en excavation terre de classe A TOTAL VOTRE ENTREPRISE | M3 | 1.800 | 48.65 | | | | | 48.65 | 63.49 | 70.54 | |
| | Fouille manuelle en excavation terre de classe B TOTAL VOTRE ENTREPRISE | M3 | 2.600 | 70.28 | | | | | 70.28 | 91.72 | 101.90 | |
| | Fouille manuelle en excavation terre de classe C TOTAL VOTRE ENTREPRISE | M3 | 3.500 | 94.60 | | | | | 94.60 | 123.45 | 137.13 | |
| | Fouille manuelle en excavation terre de classe D TOTAL VOTRE ENTREPRISE | M3 | 5.000 | 135.15 | | | | | 135.15 | 176.37 | 195.95 | |
| | **Exécutée mécaniquement** compris chauffeur et carburant, terres mises en dépôt ou chargées dans véhicule d'enlèvement. | | | | | | | | | | | |
| | Fouille mécanique en excavation terre de classe A ou B Location tractopelle TOTAL VOTRE ENTREPRISE | M3 | | | / | 0.016 | 608.61 | 9.74 9.74 | 9.74 | 12.71 | 14.12 | |

Copyright © Groupe Moniteur RCS Nanterre B 403 080 823

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Béton 0131030300016 | | | | M3 | 0.173 | 191.76 | 33.17 | | | |
| | Coffrage 0131180600004 | | | | M2 | 0.600 | 1.45 | 0.87 | | | |
| | Acier HA | | | | KG | 4.249 | 1.12 | 4.76 | | | |
| | **TOTAL** | | 1.620 | 43.79 | | | | 44.42 | 88.21 | 115.11 | 127.89 |
| | ***VOTRE ENTREPRISE*** | | | | | | | | | | |
| | Semelle filante 0,65 lg x 0,35 m ht | ML | | | | | | | | | |
| | Béton 0131030300004 | | | | M3 | 0.041 | 165.26 | 6.78 | | | |
| | Béton 0131030300016 | | | | M3 | 0.239 | 191.76 | 45.83 | | | |
| | Coffrage 0131180600004 | | | | M2 | 0.700 | 1.45 | 1.02 | | | |
| | Acier HA | | | | KG | 5.858 | 1.12 | 6.56 | | | |
| | **TOTAL** | | 2.085 | 56.36 | | | | 60.19 | 116.55 | 152.10 | 168.98 |
| | ***VOTRE ENTREPRISE*** | | | | | | | | | | |
| | **Radier** compris béton de propreté sur 5 cm d'ép. coffrage bois de rives (en amortissement), ferraillage, bétonnage en béton à 350 kg, surface dress | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ***VOTRE ENTREPRISE*** | | | | | | | | | | | | |
| | **Aggloméré de ciment creux** | | | | | | | | | | | | |
| 01 37 03 09 00 003 | Aggloméré ciment 7,5 cm d'ép. (7,5x20x50 cm) | M2 | | | | | | | | | | | |
| | Aggloméré ciment creux 7,5 | | | | U | 10.000 | 1.41 | 14.10 | | | | | |
| | Mortier 0131030600013 | | | | M3 | 0.010 | 238.15 | 2.38 | | | | | |
| | **TOTAL** | | 1.065 | 28.79 | | | | 16.48 | 45.27 | 59.08 | 65.64 | | |
| | ***VOTRE ENTREPRISE*** | | | | | | | | | | | | |
| 01 37 03 09 00 004 | Aggloméré ciment 10 cm d'ép. (10x20x50 cm) | M2 | | | | | | | | | | | |
| | Aggloméré ciment creux 10 | | | | U | 10.000 | 0.85 | 8.50 | | | | | |
| | Mortier 0131030600013 | | | | M3 | 0.014 | 238.15 | 3.33 | | | | | |
| | **TOTAL** | | 1.021 | 27.60 | | | | 11.83 | 39.43 | 51.46 | 57.17 | | |
| | ***VOTRE ENTREPRISE*** | | | | | | | | | | | | |
| 01 37 03 09 00 999 | Aggloméré ciment 15 cm d'ép. (15x20x50 cm) | M2 | | | | | | | | | | | |
| | Aggloméré ciment creux 15 | | | | U | 10.000 | 0.82 | 8.20 | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **TOTAL** | | 1.132 | 30.60 | | | | 24.80 | 55.40 | 72.30 | 80.33 | | |
| | ***VOTRE ENTREPRISE*** | | | | | | | | | | | | |
| 01 37 03 09 00 006 | Aggloméré ciment 20 cm d'ép. (20x20x50 cm) | M2 | | | | | | | | | | | |
| | Aggloméré ciment allégé 20 | | | | U | 10.000 | 2.06 | 20.60 | | | | | |
| | Mortier 0131030600013 | | | | M3 | 0.028 | 238.15 | 6.67 | | | | | |
| | **TOTAL** | | 1.242 | 33.57 | | | | 27.27 | 60.84 | 79.40 | 88.21 | | |
| | ***VOTRE ENTREPRISE*** | | | | | | | | | | | | |
| | **Aggloméré de ciment creux** | | | | | | | | | | | | |
| 01 37 03 09 00 003 | Aggloméré ciment 7,5 cm d'ép. (7,5x20x50 cm) | M2 | | | | | | | | | | | |
| | Aggloméré ciment creux 7,5 | | | | U | 10.000 | 1.41 | 14.10 | | | | | |
| | Mortier 0131030600013 | | | | M3 | 0.010 | 238.15 | 2.38 | | | | | |
| | **TOTAL** | | 1.065 | 28.79 | | | | 16.48 | 45.27 | 59.08 | 65.64 | | |
| | ***VOTRE ENTREPRISE*** | | | | | | | | | | | | |
| | Aggloméré ciment 10 cm d'ép. (10x20x50 cm) | M2 | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Treillis soudé | | | | KG | 4.830 | 1.14 | 5.51 | | | | | |
| | **TOTAL** | | 0.966 | 27.42 | | | | 29.38 | 56.80 | 74.12 | 82.35 | | |
| | ***VOTRE ENTREPRISE*** | | | | | | | | | | | | |
| 59 09 15 00 00 006 | Dallage béton armé ép. 13 cm (treillis soudé 9 kg/m2) | M2 | | | | | | | | | | | |
| | Béton 5911030300005 | | | | M3 | 0.133 | 195.69 | 26.03 | | | | | |
| | Treillis soudé | | | | KG | 10.800 | 1.14 | 12.31 | | | | | |
| | **TOTAL** | | 0.999 | 28.36 | | | | 38.34 | 66.70 | 87.04 | 96.70 | | |
| | ***VOTRE ENTREPRISE*** | | | | | | | | | | | | |
| 59 09 15 00 00 009 | Dallage béton armé ép. 15 cm (treillis soudé 11 kg/m2) | M2 | | | | | | | | | | | |
| | Béton 5911030300005 | | | | M3 | 0.153 | 195.69 | 29.94 | | | | | |
| | Treillis soudé | | | | KG | 13.200 | 1.14 | 15.05 | | | | | |
| | **TOTAL** | | 1.159 | 32.90 | | | | 44.99 | 77.89 | 101.65 | 112.93 | | |
| | ***VOTRE ENTREPRISE*** | | | | | | | | | | | | |
| | Majoration pour dallage solidarisé | ML | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **TOTAL** | | 0.100 | 3.24 | | | | 26.66 | 29.90 | 38.27 | 42.52 | | |
| | ***VOTRE ENTREPRISE*** | | | | | | | | | | | | |
| 25 15 21 03 00 024 | Panneau polystyrène extrudé ép. 100 mm | M2 | | | | | | | | | | | |
| | Panneau polystyrène extrudé | | | | M2 | 1.050 | 26.57 | 27.90 | | | | | |
| | **TOTAL** | | 0.100 | 3.24 | | | | 27.90 | 31.14 | 39.86 | 44.28 | | |
| | ***VOTRE ENTREPRISE*** | | | | | | | | | | | | |
| 25 15 21 03 00 027 | Panneau polystyrène extrudé ép. 110 mm | M2 | | | | | | | | | | | |
| | Panneau polystyrène extrudé | | | | M2 | 1.050 | 34.11 | 35.82 | | | | | |
| | **TOTAL** | | 0.100 | 3.24 | | | | 35.82 | 39.06 | 50.00 | 55.55 | | |
| | ***VOTRE ENTREPRISE*** | | | | | | | | | | | | |
| 25 15 21 03 00 030 | Panneau polystyrène extrudé ép. 120 mm | M2 | | | | | | | | | | | |
| | Panneau polystyrène extrudé | | | | M2 | 1.050 | 32.06 | 33.66 | | | | | |
| | **TOTAL** | | 0.100 | 3.24 | | | | 33.66 | 36.90 | 47.23 | 52.47 | | |
| | ***VOTRE ENTREPRISE*** | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Reprise ponctuelle au mortier colle | M2 | | | | | | | | | | | |
| | Mortier adhésif D1 | | | | KG | 1.575 | 1.10 | 1.73 | | | | | |
| | **TOTAL** | | 0.250 | 7.10 | | | | 1.73 | 8.83 | 11.52 | 12.80 | | |
| | ***VOTRE ENTREPRISE*** | | | | | | | | | | | | |
| 59 06 06 04 00 019 | Ragréage ép. 25 mm | M2 | | | | | | | | | | | |
| | Enduit de ragréage | | | | KG | 4.000 | 0.76 | 3.04 | | | | | |
| | **TOTAL** | | 0.250 | 7.10 | | | | 3.04 | 10.14 | 13.23 | 14.70 | | |
| | ***VOTRE ENTREPRISE*** | | | | | | | | | | | | |
| 59 06 06 04 00 022 | Primaire d'accrochage | M2 | | | | | | | | | | | |
| | Résine primaire | | | | L | 0.210 | 8.49 | 1.78 | | | | | |
| | **TOTAL** | | 0.180 | 5.11 | | | | 1.78 | 6.89 | 8.99 | 9.99 | | |
| | ***VOTRE ENTREPRISE*** | | | | | | | | | | | | |
| | Armature de renfort d'enduit | M2 | | | | | | | | | | | |

**MODELE : MAISON BASE 00**

| CODE | LIBELLÉ | DIM 1 | DIM2 | DIM3 | U | Q | PU | TOTAL HT | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **LOT 1 - ENVELOPPE EXTERIEUR** | | | | | | | | | |
| **1.1** | **MAÇONNERIE-FONDATIONS** | | | | | | | | |
| | Plateforme et terrassement | 12,5 | 10,5 | 1 | m² | 131 | 34 € | 4 459,88 € | |
| | Semelles filantes en béton armé | 46 | 0,5 | 0,4 | m³ | 9 | 378 € | 3 476,07 € | |
| | Murs du sous-bassement bloc beton | 46 | 0,5 | 1 | m² | 23 | 57 € | 1 304,05 € | |
| | Drain peripherique | 12,5 | 10,5 | 2 | ml | 46 | 43 € | 1 960,21 € | |
| | VRD Eaux vannes | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 863 € | 1 863,47 € | |
| | VRD Eaux usées | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 803 € | 802,95 € | |
| | VRD Eaux Pluviales | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 953 € | 952,70 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 819,33 € |
| **1.2** | **MAÇONNERIE-PLANCHER BAS DU RDC** | | | | | | | | |
| | Sable pour couche de forme | 12,5 | 10,5 | 0,2 | m³ | 26 | 16 € | 415,28 € | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 12,5 | 10,5 | 0 | m³ | 0 | 316 € | 0,00 € | |
| | Dalle béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,15 | m³ | 20 | 79 € | 1 552,06 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 13 239,13 € |
| **1.3** | **MAÇONNERIE-PLANCHER HAUT DU RDC** | | | | | | | | |
| | Peinture | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 14 € | 1 628,53 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 34 € | 3 968,55 € | |
| | Dalle portée béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m³ | 33 | 79 € | 2 586,77 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 19 455,64 € |
| **1.4** | **MURS EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture interieure | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 14 € | 2 313,75 € | |
| | Platre enduite sur bloc beton | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 26 € | 4 301,67 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,10 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 54 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 6,3 | 44,4 | 0,1 | m³ | 19 | 316 € | 6 144,66 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,20 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 57 € | ########## | |
| | Rupteur Pont Thermique XPS ép.100mm R=2,86 | 0 | 44,4 | 2 | ml | 0 | 100 € | 0,00 € | |
| | Pare-vapeur ( en climat chaud ext isolation ) | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 24 € | 4 705,95 € | |
| | Enduit exterieur etanche | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 30 € | 5 836,31 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 44 712,37 € |
| **1.5** | **TOITURE** | | | | | | | | |
| | Peinture plafond | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 40 € | 9 424,80 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 26 € | 6 151,53 € | |
| | Plancher porté en béton ep:20cm | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m² | 33 | 378 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.200mm R=5,7 | 11,9 | 9,9 | 0,2 | m³ | 24 | 316 € | 7 454,45 € | |
| | Étanchéité toiture bitumineuse | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 38 € | 4 485,03 € | |
| | Chape de protection de l'etancheité | 11,9 | 9,9 | 0,1 | m³ | 12 | 53 € | 619,92 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 40 533,39 € |
| **1.6** | **CLOISONS INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 14 € | 3 006,58 € | |
| | Enduit - deux faces | 75 | 2,9 | 2 | m² | 435 | 24 € | ########## | |
| | Mur brique terre cuite alveolaire 0,10 x 0,20 x 0,50 | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 66 € | ########## | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 27 824,05 € |
| | **TOTAL LOT 1** | | | | | | | | 16 |
| **LOT 2 - OUVERTURES** | | | | | | | | | |
| **2.1** | **MENUISERIE EXTERIEURE** | | | | | | | | |
| | Fenêtre 2 fermeture a la francaise - double vitrage Ug=2,5W | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 543 € | ########## | |
| | Porte d'entrée U=1 W/Km2 | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 604 € | 1 603,53 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 48 072,12 € |
| **2.2** | **BRISE-SOLEIL EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Brise-soleil sur fenetres | 85,5 | 0 | 1 | m2 | 0 | 318 € | 0,00 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 0,00 € |
| **2.3** | **RIDEAUX INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Rideau interieur opaque derriere fenetres | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 104 € | 8 863,11 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 8 863,11 € |
| | **TOTAL LOT 2** | | | | | | | | 5 |

## LOT3 - AGENCEMENT INTERIEUR

### 3.1 MENUISERIE INTERIEURE

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| portes interieures | | 9 | 1 | 1 | u | 9 | 162 € | 1 455,60 € | |
| placards | | 6 | 1 | 1 | u | 6 | 500 € | 3 000,00 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 4 455,60 € |
| | **TOTAL LOT 3** | | | | | | | | |

## LOT 4 - PLOMBERIE ET EAU

### 4.1 PLOMBERIE SANITAIRE

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distribution eau potable en cuivre | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 41 € | 5 407,50 € | |
| Distribution evacuation Eaux Vannes-Eaux Usees | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 23 € | 2 967,84 € | |
| Arrivée generale Eau Potable + brachement compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 315 € | 1 315,00 € | |
| Robinetterie | | 10 | 1 | 1 | u | 10 | 1 050 € | ########## | |
| Sanitaires-WC | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 190 € | 570,18 € | |
| Douche/baignoire | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 416 € | 1 246,69 € | |
| Lavabo | | 4 | 1 | 1 | u | 4 | 426 € | 1 702,05 € | |
| Evier cuisine | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 163 € | 163,48 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 23 872,74 € |
| | **TOTAL LOT 4** | | | | | | | | 2 |

## LOT 5 - CONFORT THERMIQUE ET QUALITE DE L'AIR

### 5.1 CVC

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Climatisation : chiller + splits muraux ( 1 ensemble par etage | | 2 | 1 | 1 | u | 2 | 6 196 € | ########## | |
| Chauffe-eau thermodynamique - Gaz | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 2 785 € | 2 785,14 € | |
| VMC Simple flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 660 € | 659,79 € | |
| VMC double flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | |
| VMC distribution des gaines | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 0 € | 0,00 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 15 836,93 € |
| | **TOTAL LOT 5** | | | | | | | | 1 |

## LOT 6 - ELECTRICITE

### 6.1 ELECTRICITE

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Branchements reseaux generale + compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 10 667 € | ########## | |
| Appareillage : prises, rg45,.. | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 113 € | 2 260,00 € | |
| Eclairage | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 103 € | 2 066,67 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 993,33 € |
| | **TOTAL LOT 6** | | | | | | | | 1 |

## LOT 7 - ELECTROMENAGERS ET ACCESOIRES

### 7.1 ELECTROMENAGERS

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frigo | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 950 € | 950,00 € | |
| Lavevaisselle | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 650 € | 650,00 € | |
| Lavelinge | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | |
| Microondes | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 250 € | 250,00 € | |
| Television | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | |
| Feux electriques | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 320 € | 320,00 € | |
| Four | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 100 € | 1 100,00 € | |
| Ordinateurs | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 3 000 € | 3 000,00 € | |
| AUTRE : - | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 7 970,00 € |
| | **TOTAL LOT 7** | | | | | | | | |

| | | |
|---|---|---|
| Hauteur entre planchers | 3,15 | m |
| Longueur exterieure | 12,5 | m |
| Largeur exterieure | 10,5 | m |
| Epaisseur structure | 0,2 | m |
| Epaisseur Planchers portés | 0,25 | m |
| Epaisseur Dalle sur Terre pleine | 0,15 | m |
| Epaisseur isolant murs | 0,1 | m |
| Epaisseur isolant toiture | 0,2 | m |
| Epaisseur isolant sol PbRdC | 0 | m |
| Lineaire de cloisons interieurs | 75 | m |
| Surface des murs RdC | 144,9 | m² |
| Surface des murs R+1 | 144,9 | m² |
| dim. petites fenetres 1,8 | 1,5 | m |
| dim. grandes fenetres 1,8 | 2,5 | m |
| Surfaces petites | 2,7 | m² |
| Surfaces grandes | 4,5 | m² |
| Surface des fenetres NORD | 19,8 | m² |
| Surface des fenetres SUD | 15,3 | m² |
| Surface des fenetres EST | 25,2 | m² |
| Surface des fenetres OUEST | 25,2 | m² |
| **Taux d'ouverture TOTAL** | **30%** | |
| Taux d'ouverture NORD | 30% | |
| Taux d'ouverture SUD | 23% | |
| Taux d'ouverture EST | 32% | |
| Taux d'ouverture OUEST | 32% | |
| Nombre de fenetres | 27 | u |

**TOTAL PROJET** 2
**TOTAL m2** 2
**RATIO €/m2**

**variation s/ Base:**

**MODELE : MAISON VARIANTE PETITES FENETRES 10%**

| CODE | LIBELLÉ | DIM 1 | DIM2 | DIM3 | U | Q | PU | TOTAL HT | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **LOT 1 - ENVELOPPE EXTERIEUR** | | | | | | | | | | |
| **1.1** | **MAÇONNERIE-FONDATIONS** | | | | | | | | | |
| | Plateforme et terrassement | 12,5 | 10,5 | 1 | m² | 131 | 34 € | 4 459,88 € | | |
| | Semelles filantes en béton armé | 46 | 0,5 | 0,4 | m³ | 9 | 378 € | 3 476,07 € | | |
| | Murs du sous-bassement bloc beton | 46 | 0,5 | 1 | m² | 23 | 57 € | 1 304,05 € | | |
| | Drain peripherique | 12,5 | 10,5 | 2 | ml | 46 | 43 € | 1 960,21 € | | |
| | VRD Eaux vannes | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 863 € | 1 863,47 € | | |
| | VRD Eaux usées | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 803 € | 802,95 € | | |
| | VRD Eaux Pluviales | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 953 € | 952,70 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 819,33 € | |
| **1.2** | **MAÇONNERIE-PLANCHER BAS DU RDC** | | | | | | | | | |
| | Sable pour couche de forme | 12,5 | 10,5 | 0,2 | m³ | 26 | 16 € | 415,28 € | | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 12,5 | 10,5 | 0 | m³ | 0 | 316 € | 0,00 € | | |
| | Dalle béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,15 | m³ | 20 | 79 € | 1 552,06 € | | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 13 239,13 € | |
| **1.3** | **MAÇONNERIE-PLANCHER HAUT DU RDC** | | | | | | | | | |
| | Peinture | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 14 € | 1 628,53 € | | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 34 € | 3 968,55 € | | |
| | Dalle portée béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m³ | 33 | 79 € | 2 586,77 € | | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 19 455,64 € | |
| **1.4** | **MURS EXTERIEURS** | | | | | | | | | |
| | Peinture | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 224 | 14 € | 3 101,68 € | | |
| | Platre enduite sur bloc beton | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 224 | 26 € | 5 766,57 € | | |
| | Mur bloc beton creux 0,10 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 251 | 54 € | ########## | | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 6,3 | 44,4 | 0,1 | m³ | 25 | 316 € | 7 948,00 € | | |
| | Mur bloc beton creux 0,20 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 251 | 57 € | ########## | | |
| | Rupteur Pont Thermique XPS ép.100mm R=2,88 | 0 | 44,4 | 2 | ml | 0 | 100 € | 0,00 € | | |
| | Pare-vapeur ( en climat chaud ext isolation ) | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 24 € | 4 705,95 € | | |
| | Enduit exterieur etanche | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 251 | 30 € | 7 549,16 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 56 764,84 € | |
| **1.5** | **TOITURE** | | | | | | | | | |
| | Peinture plafond | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 40 € | 9 424,80 € | | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 26 € | 6 151,53 € | | |
| | Plancher porté en béton ep:20cm | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m² | 33 | 378 € | ########## | | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.200mm R=5,7 | 11,9 | 9,9 | 0,2 | m³ | 24 | 316 € | 7 454,45 € | | |
| | Étanchéité toiture bitumineuse | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 38 € | 4 485,03 € | | |
| | Chape de protection de l'etancheité | 11,9 | 9,9 | 0,1 | m³ | 12 | 53 € | 619,92 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 40 533,39 € | |
| **1.6** | **CLOISONS INTERIEURS** | | | | | | | | | |
| | Peinture | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 14 € | 3 006,58 € | | |
| | Enduit - deux faces | 75 | 2,9 | 2 | m² | 435 | 24 € | ########## | | |
| | Mur brique terre cuite alveolaire 0,10 x 0,20 x 0,50 | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 66 € | ########## | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 27 824,05 € | |
| | **TOTAL LOT 1** | | | | | | | | | 172 636,37 € |
| **LOT 2 - OUVERTURES** | | | | | | | | | | |
| **2.1** | **MENUISERIE EXTERIEURE** | | | | | | | | | |
| | Mur rideau toute facade Nord - double vitrage Ug=2,5W/Km | 28,5 | 1 | 1 | m2 | 29 | 543 € | ########## | | |
| | Porte d'entrée U=1 W/Km2 | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 604 € | 1 603,53 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 17 093,06 € | |
| **2.2** | **BRISE-SOLEIL EXTERIEURS** | | | | | | | | | |
| | Brise-soleil sur fenetres | 28,5 | 0 | 1 | m2 | 0 | 318 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 0,00 € | |
| **2.3** | **RIDEAUX INTERIEURS** | | | | | | | | | |
| | Rideau interieur opaque derriere fenetres | 28,5 | 1 | 1 | m2 | 29 | 104 € | 2 954,37 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 2 954,37 € | |
| | **TOTAL LOT 2** | | | | | | | | | 20 047,43 € |

## LOT3 - AGENCEMENT INTERIEUR

### 3.1 MENUISERIE INTERIEURE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| portes interieures | | 9 | 1 | 1 | u | 9 | 162 € | 1 455,60 € | | |
| placards | | 6 | 1 | 1 | u | 6 | 500 € | 3 000,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 4 455,60 € | |
| | **TOTAL LOT 3** | | | | | | | | | 4 455,60 € |

## LOT 4 - PLOMBERIE ET EAU

### 4.1 PLOMBERIE SANITAIRE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distribution eau potable en cuivre | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 41 € | 5 407,50 € | | |
| Distribution evacuation Eaux Vannes-Eaux Usees | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 23 € | 2 967,84 € | | |
| Arrivée generale Eau Potable + brachement compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 315 € | 1 315,00 € | | |
| Robinetterie | | 10 | 1 | 1 | u | 10 | 1 050 € | ########## | | |
| Sanitaires-WC | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 190 € | 570,18 € | | |
| Douche/baignoire | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 416 € | 1 246,69 € | | |
| Lavabo | | 4 | 1 | 1 | u | 4 | 426 € | 1 702,05 € | | |
| Evier cuisine | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 163 € | 163,48 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 23 872,74 € | |
| | **TOTAL LOT 4** | | | | | | | | | 23 872,74 € |

## LOT 5 - CONFORT THERMIQUE ET QUALITE DE L'AIR

### 5.1 CVC

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Climatisation : chiller + splits muraux ( 1 ensemble par etage | | 2 | 1 | 1 | u | 2 | 6 196 € | ########## | | |
| Chauffe-eau thermodynamique - Gaz | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 2 785 € | 2 785,14 € | | |
| VMC Simple flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 660 € | 659,79 € | | |
| VMC double flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| VMC distribution des gaines | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 15 836,93 € | |
| | **TOTAL LOT 5** | | | | | | | | | 15 836,93 € |

## LOT 6 - ELECTRICITE

### 6.1 ELECTRICITE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Branchements reseaux generale + compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 10 667 € | ########## | | |
| Appareillage : prises, rg45,.. | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 113 € | 2 260,00 € | | |
| Eclairage | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 103 € | 2 066,67 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 993,33 € | |
| | **TOTAL LOT 6** | | | | | | | | | 14 993,33 € |

## LOT 7 - ELECTROMENAGERS ET ACCESOIRES

### 7.1 ELECTROMENAGERS

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frigo | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 950 € | 950,00 € | | |
| Lavevaisselle | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 650 € | 650,00 € | | |
| Lavelinge | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Microondes | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 250 € | 250,00 € | | |
| Television | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Feux electriques | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 320 € | 320,00 € | | |
| Four | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 100 € | 1 100,00 € | | |
| Ordinateurs | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 3 000 € | 3 000,00 € | | |
| AUTRE : - | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 7 970,00 € | |
| | **TOTAL LOT 7** | | | | | | | | | 7 970,00 € |

| | | |
|---|---|---|
| Hauteur entre planchers | 3,15 | m |
| Longueur exterieure | 12,5 | m |
| Largeur exterieure | 10,5 | m |
| Epaisseur structure | 0,2 | m |
| Epaisseur Planchers portés | 0,25 | m |
| Epaisseur Dalle sur Terre pleine | 0,15 | m |
| Epaisseur isolant murs | 0,1 | m |
| Epaisseur isolant toiture | 0,2 | m |
| Epaisseur isolant sol PbRdC | 0 | m |
| Lineaire de cloisons interieurs | 75 | m |
| Surface des murs RdC | 144,9 | m² |
| Surface des murs R+1 | 144,9 | m² |
| dim. petites fenetres 1 | 0,9 | m |
| dim. grandes fenetres 1 | 1,5 | m |
| Surfaces petites fenetres | 0,9 | m² |
| Surfaces grandes fenetres | 1,5 | m² |
| Surface des fenetres NORD | 6,6 | m² |
| Surface des fenetres SUD | 5,1 | m² |
| Surface des fenetres EST | 8,4 | m² |
| Surface des fenetres OUEST | 8,4 | m² |
| **Taux d'ouverture TOTAL** | **10%** | |
| Taux d'ouverture NORD | 10% | |
| Taux d'ouverture SUD | 8% | |
| Taux d'ouverture EST | 11% | |
| Taux d'ouverture OUEST | 11% | |
| Nombre de fenetres | 27 | u |

| | |
|---|---|
| **TOTAL PROJET** | **259812,4 €H** |
| **TOTAL m2** | **223,12 m** |
| **RATIO €/m2** | **1164 €/** |
| **variation s/ Base:** | **-24835 €I** |

**MODELE : MAISON VARIANTE PETITES FENETRES 20%**

| CODE | LIBELLÉ | DIM 1 | DIM2 | DIM3 | U | Q | PU | TOTAL HT | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **LOT 1 - ENVELOPPE EXTERIEUR** | | | | | | | | | |
| **1.1** | **MAÇONNERIE-FONDATIONS** | | | | | | | | |
| | Plateforme et terrassement | 12,5 | 10,5 | 1 | m² | 131 | 34 € | 4 459,88 € | |
| | Semelles filantes en béton armé | 46 | 0,5 | 0,4 | m³ | 9 | 378 € | 3 476,07 € | |
| | Murs du sous-bassement bloc beton | 46 | 0,5 | 1 | m² | 23 | 57 € | 1 304,05 € | |
| | Drain peripherique | 12,5 | 10,5 | 2 | ml | 46 | 43 € | 1 960,21 € | |
| | VRD Eaux vannes | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 863 € | 1 863,47 € | |
| | VRD Eaux usées | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 803 € | 802,95 € | |
| | VRD Eaux Pluviales | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 953 € | 952,70 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 819,33 € |
| **1.2** | **MAÇONNERIE-PLANCHER BAS DU RDC** | | | | | | | | |
| | Sable pour couche de forme | 12,5 | 10,5 | 0,2 | m³ | 26 | 16 € | 415,28 € | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 12,5 | 10,5 | 0 | m³ | 0 | 316 € | 0,00 € | |
| | Dalle béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,15 | m³ | 20 | 79 € | 1 552,06 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 13 239,13 € |
| **1.3** | **MAÇONNERIE-PLANCHER HAUT DU RDC** | | | | | | | | |
| | Peinture | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 14 € | 1 628,53 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 34 € | 3 968,55 € | |
| | Dalle portée béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m³ | 33 | 79 € | 2 586,77 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 19 455,64 € |
| **1.4** | **MURS EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 194 | 14 € | 2 686,15 € | |
| | Platre enduite sur bloc beton | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 194 | 26 € | 4 994,02 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,10 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 221 | 54 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 6,3 | 44,4 | 0,1 | m³ | 22 | 316 € | 6 996,97 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,20 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 221 | 57 € | ########## | |
| | Rupteur Pont Thermique XPS ép.100mm R=2,88 | 0 | 44,4 | 2 | ml | 0 | 100 € | 0,00 € | |
| | Pare-vapeur ( en climat chaud ext isolation ) | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 24 € | 4 705,95 € | |
| | Enduit exterieur etanche | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 221 | 30 € | 6 645,86 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 50 408,75 € |
| **1.5** | **TOITURE** | | | | | | | | |
| | Peinture plafond | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 40 € | 9 424,80 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 26 € | 6 151,53 € | |
| | Plancher porté en béton ep:20cm | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m² | 33 | 378 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.200mm R=5,7 | 11,9 | 9,9 | 0,2 | m³ | 24 | 316 € | 7 454,45 € | |
| | Étanchéité toiture bitumineuse | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 38 € | 4 485,03 € | |
| | Chape de protection de l'etancheité | 11,9 | 9,9 | 0,1 | m³ | 12 | 53 € | 619,92 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 40 533,39 € |
| **1.6** | **CLOISONS INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 14 € | 3 006,58 € | |
| | Enduit - deux faces | 75 | 2,9 | 2 | m² | 435 | 24 € | ########## | |
| | Mur brique terre cuite alveolaire 0,10 x 0,20 x 0,50 | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 66 € | ########## | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 27 824,05 € |
| | **TOTAL LOT 1** | | | | | | | | 166 280,28 € |
| **LOT 2 - OUVERTURES** | | | | | | | | | |
| **2.1** | **MENUISERIE EXTERIEURE** | | | | | | | | |
| | Fenêtre 2 fermeture a la francaise - double vitrage Ug=2,5W | 58,56 | 1 | 1 | m2 | 59 | 543 € | ########## | |
| | Porte d'entrée U=1 W/Km2 | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 604 € | 1 603,53 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 33 430,44 € |
| **2.2** | **BRISE-SOLEIL EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Brise-soleil sur fenetres | 58,56 | 0 | 1 | m2 | 0 | 318 € | 0,00 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 0,00 € |
| **2.3** | **RIDEAUX INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Rideau interieur opaque derriere fenetres | 58,56 | 1 | 1 | m2 | 59 | 104 € | 6 070,45 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 6 070,45 € |
| | **TOTAL LOT 2** | | | | | | | | 39 500,89 € |

## LOT3 - AGENCEMENT INTERIEUR

### 3.1 MENUISERIE INTERIEURE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| portes interieures | | 9 | 1 | 1 | u | 9 | 162 € | 1 455,60 € | | |
| placards | | 6 | 1 | 1 | u | 6 | 500 € | 3 000,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 4 455,60 € | |
| | **TOTAL LOT 3** | | | | | | | | | 4 455,60 € |

## LOT 4 - PLOMBERIE ET EAU

### 4.1 PLOMBERIE SANITAIRE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distribution eau potable en cuivre | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 41 € | 5 407,50 € | | |
| Distribution evacuation Eaux Vannes-Eaux Usees | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 23 € | 2 967,84 € | | |
| Arrivée generale Eau Potable + brachement compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 315 € | 1 315,00 € | | |
| Robinetterie | | 10 | 1 | 1 | u | 10 | 1 050 € | ########## | | |
| Sanitaires-WC | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 190 € | 570,18 € | | |
| Douche/baignoire | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 416 € | 1 246,69 € | | |
| Lavabo | | 4 | 1 | 1 | u | 4 | 426 € | 1 702,05 € | | |
| Evier cuisine | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 163 € | 163,48 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 23 872,74 € | |
| | **TOTAL LOT 4** | | | | | | | | | 23 872,74 € |

## LOT 5 - CONFORT THERMIQUE ET QUALITE DE L'AIR

### 5.1 CVC

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Climatisation : chiller + splits muraux ( 1 ensemble par etage | | 2 | 1 | 1 | u | 2 | 6 196 € | ########## | | |
| Chauffe-eau thermodynamique - Gaz | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 2 785 € | 2 785,14 € | | |
| VMC Simple flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 660 € | 659,79 € | | |
| VMC double flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| VMC distribution des gaines | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 15 836,93 € | |
| | **TOTAL LOT 5** | | | | | | | | | 15 836,93 € |

## LOT 6 - ELECTRICITE

### 6.1 ELECTRICITE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Branchements reseaux generale + compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 10 667 € | ########## | | |
| Appareillage : prises, rg45,.. | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 113 € | 2 260,00 € | | |
| Eclairage | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 103 € | 2 066,67 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 993,33 € | |
| | **TOTAL LOT 6** | | | | | | | | | 14 993,33 € |

## LOT 7 - ELECTROMENAGERS ET ACCESOIRES

### 7.1 ELECTROMENAGERS

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frigo | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 950 € | 950,00 € | | |
| Lavevaisselle | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 650 € | 650,00 € | | |
| Lavelinge | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Microondes | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 250 € | 250,00 € | | |
| Television | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Feux electriques | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 320 € | 320,00 € | | |
| Four | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 100 € | 1 100,00 € | | |
| Ordinateurs | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 3 000 € | 3 000,00 € | | |
| AUTRE : - | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 7 970,00 € | |
| | **TOTAL LOT 7** | | | | | | | | | 7 970,00 € |

| | | |
|---|---|---|
| Hauteur entre planchers | 3,15 | m |
| Longueur exterieure | 12,5 | m |
| Largeur exterieure | 10,5 | m |
| Epaisseur structure | 0,2 | m |
| Epaisseur Planchers portés | 0,25 | m |
| Epaisseur Dalle sur Terre pleine | 0,15 | m |
| Epaisseur isolant murs | 0,1 | m |
| Epaisseur isolant toiture | 0,2 | m |
| Epaisseur isolant sol PbRdC | 0 | m |
| Lineaire de cloisons interieurs | 75 | m |
| Surface des murs RdC | 144,9 | m² |
| Surface des murs R+1 | 144,9 | m² |
| dim. petites fenetres 1,6 | 1,2 | m |
| dim. grandes fenetres 1,6 | 1,8 | m |
| Surfaces petites fenetres | 1,92 | m² |
| Surfaces grandes fenetres | 2,88 | m² |
| Surface des fenetres NORD | 13,44 | m² |
| Surface des fenetres SUD | 10,56 | m² |
| Surface des fenetres EST | 17,28 | m² |
| Surface des fenetres OUEST | 17,28 | m² |
| **Taux d'ouverture TOTAL** | **20%** | |
| Taux d'ouverture NORD | 20% | |
| Taux d'ouverture SUD | 16% | |
| Taux d'ouverture EST | 22% | |
| Taux d'ouverture OUEST | 22% | |
| Nombre de fenetres | 27 | u |

| | |
|---|---|
| **TOTAL PROJET** | **272909,8 €H** |
| **TOTAL m2** | **223,12 m** |
| **RATIO €/m2** | **1223 €/** |
| **variation s/ Base:** | **-11738 €I** |

**MODELE : MAISON VARIANTE 100% VITREE NORD**

| CODE | LIBELLÉ | DIM 1 | DIM2 | DIM3 | U | Q | PU | TOTAL HT | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **LOT 1 - ENVELOPPE EXTERIEUR** | | | | | | | | | | |
| **1.1** | **MAÇONNERIE-FONDATIONS** | | | | | | | | | |
| | Plateforme et terrassement | 12,5 | 10,5 | 1 | m² | 131 | 34 € | 4 459,88 € | | |
| | Semelles filantes en béton armé | 46 | 0,5 | 0,4 | m³ | 9 | 378 € | 3 476,07 € | | |
| | Murs du sous-bassement bloc beton | 46 | 0,5 | 1 | m² | 23 | 57 € | 1 304,05 € | | |
| | Drain peripherique | 12,5 | 10,5 | 2 | ml | 46 | 43 € | 1 960,21 € | | |
| | VRD Eaux vannes | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 863 € | 1 863,47 € | | |
| | VRD Eaux usées | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 803 € | 802,95 € | | |
| | VRD Eaux Pluviales | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 953 € | 952,70 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 819,33 € | |
| **1.2** | **MAÇONNERIE-PLANCHER BAS DU RDC** | | | | | | | | | |
| | Sable pour couche de forme | 12,5 | 10,5 | 0,2 | m³ | 26 | 16 € | 415,28 € | | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 12,5 | 10,5 | 0 | m³ | 0 | 316 € | 0,00 € | | |
| | Dalle béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,15 | m³ | 20 | 79 € | 1 552,06 € | | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 13 239,13 € | |
| **1.3** | **MAÇONNERIE-PLANCHER HAUT DU RDC** | | | | | | | | | |
| | Peinture | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 14 € | 1 628,53 € | | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 34 € | 3 968,55 € | | |
| | Dalle portée béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m³ | 33 | 79 € | 2 586,77 € | | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 19 455,64 € | |
| **1.4** | **MURS EXTERIEURS** | | | | | | | | | |
| | Peinture | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 14 € | 2 313,33 € | | |
| | Platre enduite sur bloc beton | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 26 € | 4 300,90 € | | |
| | Mur bloc beton creux 0,10 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 54 € | ########## | | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 6,3 | 44,4 | 0,1 | m³ | 19 | 316 € | 6 143,71 € | | |
| | Mur bloc beton creux 0,20 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 57 € | ########## | | |
| | Rupteur Pont Thermique XPS ép.100mm R=2,88 | 0 | 44,4 | 2 | ml | 0 | 100 € | 0,00 € | | |
| | Pare-vapeur ( en climat chaud ext isolation ) | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 24 € | 4 705,95 € | | |
| | Enduit exterieur etanche | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 30 € | 5 835,41 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 44 706,03 € | |
| **1.5** | **TOITURE** | | | | | | | | | |
| | Peinture plafond | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 40 € | 9 424,80 € | | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 26 € | 6 151,53 € | | |
| | Plancher porté en béton ep:20cm | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m² | 33 | 378 € | ########## | | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.200mm R=5,7 | 11,9 | 9,9 | 0,2 | m³ | 24 | 316 € | 7 454,45 € | | |
| | Étanchéité toiture bitumineuse | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 38 € | 4 485,03 € | | |
| | Chape de protection de l'etancheité | 11,9 | 9,9 | 0,1 | m³ | 12 | 53 € | 619,92 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 40 533,39 € | |
| **1.6** | **CLOISONS INTERIEURS** | | | | | | | | | |
| | Peinture | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 14 € | 3 006,58 € | | |
| | Enduit - deux faces | 75 | 2,9 | 2 | m² | 435 | 24 € | ########## | | |
| | Mur brique terre cuite alveolaire 0,10 x 0,20 x 0,50 | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 66 € | ########## | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 27 824,05 € | |
| | **TOTAL LOT 1** | | | | | | | | | 160 577,56 € |
| **LOT 2 - OUVERTURES** | | | | | | | | | | |
| **2.1** | **MENUISERIE EXTERIEURE** | | | | | | | | | |
| | Mur rideaux avec ouvertures - double vitrage Ug=2,5W/Km2 | 85,53 | 1 | 1 | m2 | 86 | 631 € | ########## | | |
| | Porte d'entrée U=1 W/Km2 | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 604 € | 1 603,53 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 55 538,32 € | |
| **2.2** | **BRISE-SOLEIL EXTERIEURS** | | | | | | | | | |
| | Brise-soleil sur fenetres | 85,53 | 0 | 1 | m2 | 0 | 318 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 0,00 € | |
| **2.3** | **RIDEAUX INTERIEURS** | | | | | | | | | |
| | Rideau interieur opaque derriere fenetres | 85,53 | 1 | 1 | m2 | 86 | 104 € | 8 866,22 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 8 866,22 € | |
| | **TOTAL LOT 2** | | | | | | | | | 64 404,54 € |

## LOT3 - AGENCEMENT INTERIEUR

### 3.1 MENUISERIE INTERIEURE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| portes interieures | | 9 | 1 | 1 | u | 9 | 162 € | 1 455,60 € | | |
| placards | | 6 | 1 | 1 | u | 6 | 500 € | 3 000,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 4 455,60 € | |
| | **TOTAL LOT 3** | | | | | | | | | 4 455,60 € |

## LOT 4 - PLOMBERIE ET EAU

### 4.1 PLOMBERIE SANITAIRE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distribution eau potable en cuivre | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 41 € | 5 407,50 € | | |
| Distribution evacuation Eaux Vannes-Eaux Usees | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 23 € | 2 967,84 € | | |
| Arrivée generale Eau Potable + brachement compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 315 € | 1 315,00 € | | |
| Robinetterie | | 10 | 1 | 1 | u | 10 | 1 050 € | ########## | | |
| Sanitaires-WC | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 190 € | 570,18 € | | |
| Douche/baignoire | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 416 € | 1 246,69 € | | |
| Lavabo | | 4 | 1 | 1 | u | 4 | 426 € | 1 702,05 € | | |
| Evier cuisine | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 163 € | 163,48 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 23 872,74 € | |
| | **TOTAL LOT 4** | | | | | | | | | 23 872,74 € |

## LOT 5 - CONFORT THERMIQUE ET QUALITE DE L'AIR

### 5.1 CVC

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Climatisation : chiller + splits muraux ( 1 ensemble par etage | | 2 | 1 | 1 | u | 2 | 6 196 € | ########## | | |
| Chauffe-eau thermodynamique - Gaz | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 2 785 € | 2 785,14 € | | |
| VMC Simple flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 660 € | 659,79 € | | |
| VMC double flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| VMC distribution des gaines | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 15 836,93 € | |
| | **TOTAL LOT 5** | | | | | | | | | 15 836,93 € |

## LOT 6 - ELECTRICITE

### 6.1 ELECTRICITE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Branchements reseaux generale + compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 10 667 € | ########## | | |
| Appareillage : prises, rg45,.. | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 113 € | 2 260,00 € | | |
| Eclairage | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 103 € | 2 066,67 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 993,33 € | |
| | **TOTAL LOT 6** | | | | | | | | | 14 993,33 € |

## LOT 7 - ELECTROMENAGERS ET ACCESOIRES

### 7.1 ELECTROMENAGERS

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frigo | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 950 € | 950,00 € | | |
| Lavevaisselle | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 650 € | 650,00 € | | |
| Lavelinge | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Microondes | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 250 € | 250,00 € | | |
| Television | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Feux electriques | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 320 € | 320,00 € | | |
| Four | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 100 € | 1 100,00 € | | |
| Ordinateurs | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 3 000 € | 3 000,00 € | | |
| AUTRE : - | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 7 970,00 € | |
| | **TOTAL LOT 7** | | | | | | | | | 7 970,00 € |

| | | |
|---|---|---|
| Hauteur entre planchers | 3,15 | m |
| Longueur exterieure | 12,5 | m |
| Largeur exterieure | 10,5 | m |
| Epaisseur structure | 0,2 | m |
| Epaisseur Planchers portés | 0,25 | m |
| Epaisseur Dalle sur Terre pleine | 0,15 | m |
| Epaisseur isolant murs | 0,1 | m |
| Epaisseur isolant toiture | 0,2 | m |
| Epaisseur isolant sol PbRdC | 0 | m |
| Lineaire de cloisons interieurs | 75 | m |
| Surface des murs RdC | 144,9 | m² |
| Surface des murs R+1 | 144,9 | m² |
| dim. petites fenetres 1 | 0,9 | m |
| dim. grandes fenetres 1 | 1,5 | m |
| Surfaces petites fenetres | 0,9 | m² |
| Surfaces grandes fenetres | 1,5 | m² |
| Surface des fenetres NORD | 63,63 | m² |
| Surface des fenetres SUD | 5,1 | m² |
| Surface des fenetres EST | 8,4 | m² |
| Surface des fenetres OUEST | 8,4 | m² |
| **Taux d'ouverture TOTAL** | **30%** | |
| Taux d'ouverture NORD | 96% | |
| Taux d'ouverture SUD | 8% | |
| Taux d'ouverture EST | 11% | |
| Taux d'ouverture OUEST | 11% | |
| Nombre de fenetres | 27 | u |

| | |
|---|---|
| **TOTAL PROJET** | **292110,7 €H** |
| **TOTAL m2** | **223,12 m** |
| **RATIO €/m2** | **1309 €/** |
| **variation s/ Base:** | **7463 €I** |

**MODELE : VARIANTE PROTECTION EXTERIEURE BRISOLEILS 4 LAMES**

| CODE | LIBELLÉ | DIM 1 | DIM2 | DIM3 | U | Q | PU | TOTAL HT | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **LOT 1 - ENVELOPPE EXTERIEUR** | | | | | | | | | |
| **1.1** | **MAÇONNERIE-FONDATIONS** | | | | | | | | |
| | Plateforme et terrassement | 12,5 | 10,5 | 1 | m² | 131 | 34 € | 4 459,88 € | |
| | Semelles filantes en béton armé | 46 | 0,5 | 0,4 | m³ | 9 | 378 € | 3 476,07 € | |
| | Murs du sous-bassement bloc beton | 46 | 0,5 | 1 | m² | 23 | 57 € | 1 304,05 € | |
| | Drain peripherique | 12,5 | 10,5 | 2 | ml | 46 | 43 € | 1 960,21 € | |
| | VRD Eaux vannes | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 863 € | 1 863,47 € | |
| | VRD Eaux usées | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 803 € | 802,95 € | |
| | VRD Eaux Pluviales | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 953 € | 952,70 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 819,33 € |
| **1.2** | **MAÇONNERIE-PLANCHER BAS DU RDC** | | | | | | | | |
| | Sable pour couche de forme | 12,5 | 10,5 | 0,2 | m³ | 26 | 16 € | 415,28 € | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 12,5 | 10,5 | 0 | m³ | 0 | 316 € | 0,00 € | |
| | Dalle béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,15 | m³ | 20 | 79 € | 1 552,06 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 13 239,13 € |
| **1.3** | **MAÇONNERIE-PLANCHER HAUT DU RDC** | | | | | | | | |
| | Peinture | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 14 € | 1 628,53 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 34 € | 3 968,55 € | |
| | Dalle portée béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m³ | 33 | 79 € | 2 586,77 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 19 455,64 € |
| **1.4** | **MURS EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 14 € | 2 313,75 € | |
| | Platre enduite sur bloc beton | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 26 € | 4 301,67 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,10 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 54 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 6,3 | 44,4 | 0,1 | m³ | 19 | 316 € | 6 144,66 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,20 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 57 € | ########## | |
| | Rupteur Pont Thermique XPS ép.100mm R=2,88 | 0 | 44,4 | 2 | ml | 0 | 100 € | 0,00 € | |
| | Pare-vapeur ( en climat chaud ext isolation ) | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 24 € | 4 705,95 € | |
| | Enduit exterieur etanche | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 30 € | 5 836,31 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 44 712,37 € |
| **1.5** | **TOITURE** | | | | | | | | |
| | Peinture plafond | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 40 € | 9 424,80 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 26 € | 6 151,53 € | |
| | Plancher porté en béton ep:20cm | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m² | 33 | 378 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.200mm R=5,7 | 11,9 | 9,9 | 0,2 | m³ | 24 | 316 € | 7 454,45 € | |
| | Étanchéité toiture bitumineuse | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 38 € | 4 485,03 € | |
| | Chape de protection de l'etancheité | 11,9 | 9,9 | 0,1 | m³ | 12 | 53 € | 619,92 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 40 533,39 € |
| **1.6** | **CLOISONS INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 14 € | 3 006,58 € | |
| | Enduit - deux faces | 75 | 2,9 | 2 | m² | 435 | 24 € | ########## | |
| | Mur brique terre cuite alveolaire 0,10 x 0,20 x 0,50 | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 66 € | ########## | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 27 824,05 € |
| | **TOTAL LOT 1** | | | | | | | | 160 583,90 € |
| **LOT 2 - OUVERTURES** | | | | | | | | | |
| **2.1** | **MENUISERIE EXTERIEURE** | | | | | | | | |
| | Fenêtre 2 fermeture a la francaise - double vitrage Ug=2,5W | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 543 € | ########## | |
| | Porte d'entrée U=1 W/Km2 | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 604 € | 1 603,53 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 48 072,12 € |
| **2.2** | **BRISE-SOLEIL EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Brise-soleil sur fenetres - 4 lames - protection faible | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 238 € | ########## | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 20 369,95 € |
| **2.3** | **RIDEAUX INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Rideau interieur opaque derriere fenetres | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 104 € | 8 863,11 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 8 863,11 € |
| | **TOTAL LOT 2** | | | | | | | | 77 305,18 € |

## LOT3 - AGENCEMENT INTERIEUR

### 3.1 MENUISERIE INTERIEURE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| portes interieures | | 9 | 1 | 1 | u | 9 | 162 € | 1 455,60 € | | |
| placards | | 6 | 1 | 1 | u | 6 | 500 € | 3 000,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 4 455,60 € | |
| | **TOTAL LOT 3** | | | | | | | | | 4 455,60 € |

## LOT 4 - PLOMBERIE ET EAU

### 4.1 PLOMBERIE SANITAIRE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distribution eau potable en cuivre | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 41 € | 5 407,50 € | | |
| Distribution evacuation Eaux Vannes-Eaux Usees | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 23 € | 2 967,84 € | | |
| Arrivée generale Eau Potable + brachement compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 315 € | 1 315,00 € | | |
| Robinetterie | | 10 | 1 | 1 | u | 10 | 1 050 € | ########## | | |
| Sanitaires-WC | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 190 € | 570,18 € | | |
| Douche/baignoire | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 416 € | 1 246,69 € | | |
| Lavabo | | 4 | 1 | 1 | u | 4 | 426 € | 1 702,05 € | | |
| Evier cuisine | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 163 € | 163,48 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 23 872,74 € | |
| | **TOTAL LOT 4** | | | | | | | | | 23 872,74 € |

## LOT 5 - CONFORT THERMIQUE ET QUALITE DE L'AIR

### 5.1 CVC

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Climatisation : chiller + splits muraux ( 1 ensemble par etage | | 2 | 1 | 1 | u | 2 | 6 196 € | ########## | | |
| Chauffe-eau thermodynamique - Gaz | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 2 785 € | 2 785,14 € | | |
| VMC Simple flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 660 € | 659,79 € | | |
| VMC double flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| VMC distribution des gaines | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 15 836,93 € | |
| | **TOTAL LOT 5** | | | | | | | | | 15 836,93 € |

## LOT 6 - ELECTRICITE

### 6.1 ELECTRICITE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Branchements reseaux generale + compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 10 667 € | ########## | | |
| Appareillage : prises, rg45,.. | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 113 € | 2 260,00 € | | |
| Eclairage | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 103 € | 2 066,67 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 993,33 € | |
| | **TOTAL LOT 6** | | | | | | | | | 14 993,33 € |

## LOT 7 - ELECTROMENAGERS ET ACCESOIRES

### 7.1 ELECTROMENAGERS

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frigo | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 950 € | 950,00 € | | |
| Lavevaisselle | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 650 € | 650,00 € | | |
| Lavelinge | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Microondes | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 250 € | 250,00 € | | |
| Television | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Feux electriques | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 320 € | 320,00 € | | |
| Four | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 100 € | 1 100,00 € | | |
| Ordinateurs | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 3 000 € | 3 000,00 € | | |
| AUTRE : - | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 7 970,00 € | |
| | **TOTAL LOT 7** | | | | | | | | | 7 970,00 € |

| | | |
|---|---|---|
| Hauteur entre planchers | 3,15 | m |
| Longueur exterieure | 12,5 | m |
| Largeur exterieure | 10,5 | m |
| Epaisseur structure | 0,2 | m |
| Epaisseur Planchers portés | 0,25 | m |
| Epaisseur Dalle sur Terre pleine | 0,15 | m |
| Epaisseur isolant murs | 0,1 | m |
| Epaisseur isolant toiture | 0,2 | m |
| Epaisseur isolant sol PbRdC | 0 | m |
| Lineaire de cloisons interieurs | 75 | m |
| Surface des murs RdC | 144,9 | m² |
| Surface des murs R+1 | 144,9 | m² |
| dim. petites fenetres 1,8 | 1,5 | m |
| dim. grandes fenetres 1,8 | 2,5 | m |
| Surfaces petites | 2,7 | m² |
| Surfaces grandes | 4,5 | m² |
| Surface des fenetres NORD | 19,8 | m² |
| Surface des fenetres SUD | 15,3 | m² |
| Surface des fenetres EST | 25,2 | m² |
| Surface des fenetres OUEST | 25,2 | m² |
| **Taux d'ouverture TOTAL** | **30%** | |
| Taux d'ouverture NORD | 30% | |
| Taux d'ouverture SUD | 23% | |
| Taux d'ouverture EST | 32% | |
| Taux d'ouverture OUEST | 32% | |
| Nombre de fenetres | 27 | u |

| | |
|---|---|
| **TOTAL PROJET** | **305017,7 €H** |
| **TOTAL m2** | **223,12 m** |
| **RATIO €/m2** | **1367 €/** |
| **variation s/ Base:** | **20370 €I** |

**MODELE : VARIANTE PROTECTION EXTERIEURE BRISOLEILS 16 LAMES**

| CODE | LIBELLÉ | DIM 1 | DIM2 | DIM3 | U | Q | PU | TOTAL HT | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **LOT 1 - ENVELOPPE EXTERIEUR** | | | | | | | | | | |
| **1.1** | **MAÇONNERIE-FONDATIONS** | | | | | | | | | |
| | Plateforme et terrassement | 12,5 | 10,5 | 1 | m² | 131 | 34 € | 4 459,88 € | | |
| | Semelles filantes en béton armé | 46 | 0,5 | 0,4 | m³ | 9 | 378 € | 3 476,07 € | | |
| | Murs du sous-bassement bloc beton | 46 | 0,5 | 1 | m² | 23 | 57 € | 1 304,05 € | | |
| | Drain peripherique | 12,5 | 10,5 | 2 | ml | 46 | 43 € | 1 960,21 € | | |
| | VRD Eaux vannes | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 863 € | 1 863,47 € | | |
| | VRD Eaux usées | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 803 € | 802,95 € | | |
| | VRD Eaux Pluviales | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 953 € | 952,70 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 819,33 € | |
| **1.2** | **MAÇONNERIE-PLANCHER BAS DU RDC** | | | | | | | | | |
| | Sable pour couche de forme | 12,5 | 10,5 | 0,2 | m³ | 26 | 16 € | 415,28 € | | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 12,5 | 10,5 | 0 | m³ | 0 | 316 € | 0,00 € | | |
| | Dalle béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,15 | m³ | 20 | 79 € | 1 552,06 € | | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 13 239,13 € | |
| **1.3** | **MAÇONNERIE-PLANCHER HAUT DU RDC** | | | | | | | | | |
| | Peinture | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 14 € | 1 628,53 € | | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 34 € | 3 968,55 € | | |
| | Dalle portée béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m³ | 33 | 79 € | 2 586,77 € | | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 19 455,64 € | |
| **1.4** | **MURS EXTERIEURS** | | | | | | | | | |
| | Peinture | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 14 € | 2 313,75 € | | |
| | Platre enduite sur bloc beton | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 26 € | 4 301,67 € | | |
| | Mur bloc beton creux 0,10 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 54 € | ########## | | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 6,3 | 44,4 | 0,1 | m³ | 19 | 316 € | 6 144,66 € | | |
| | Mur bloc beton creux 0,20 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 57 € | ########## | | |
| | Rupteur Pont Thermique XPS ép.100mm R=2,88 | 0 | 44,4 | 2 | ml | 0 | 100 € | 0,00 € | | |
| | Pare-vapeur ( en climat chaud ext isolation ) | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 24 € | 4 705,95 € | | |
| | Enduit exterieur etanche | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 30 € | 5 836,31 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 44 712,37 € | |
| **1.5** | **TOITURE** | | | | | | | | | |
| | Peinture plafond | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 40 € | 9 424,80 € | | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 26 € | 6 151,53 € | | |
| | Plancher porté en béton ep:20cm | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m² | 33 | 378 € | ########## | | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.200mm R=5,7 | 11,9 | 9,9 | 0,2 | m³ | 24 | 316 € | 7 454,45 € | | |
| | Étanchéité toiture bitumineuse | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 38 € | 4 485,03 € | | |
| | Chape de protection de l'etancheité | 11,9 | 9,9 | 0,1 | m³ | 12 | 53 € | 619,92 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 40 533,39 € | |
| **1.6** | **CLOISONS INTERIEURS** | | | | | | | | | |
| | Peinture | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 14 € | 3 006,58 € | | |
| | Enduit - deux faces | 75 | 2,9 | 2 | m² | 435 | 24 € | ########## | | |
| | Mur brique terre cuite alveolaire 0,10 x 0,20 x 0,50 | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 66 € | ########## | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 27 824,05 € | |
| | **TOTAL LOT 1** | | | | | | | | | 160 583,90 € |
| **LOT 2 - OUVERTURES** | | | | | | | | | | |
| **2.1** | **MENUISERIE EXTERIEURE** | | | | | | | | | |
| | Fenêtre 2 fermeture a la francaise - double vitrage Ug=2,5W | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 543 € | ########## | | |
| | Porte d'entrée U=1 W/Km2 | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 604 € | 1 603,53 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 48 072,12 € | |
| **2.2** | **BRISE-SOLEIL EXTERIEURS** | | | | | | | | | |
| | Brise-soleil sur fenetres - 16 lames - protection forte | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 445 € | ########## | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 38 023,91 € | |
| **2.3** | **RIDEAUX INTERIEURS** | | | | | | | | | |
| | Rideau interieur opaque derriere fenetres | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 104 € | 8 863,11 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 8 863,11 € | |
| | **TOTAL LOT 2** | | | | | | | | | 94 959,13 € |

## LOT3 - AGENCEMENT INTERIEUR

### 3.1 MENUISERIE INTERIEURE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| portes interieures | | 9 | 1 | 1 | u | 9 | 162 € | 1 455,60 € | | |
| placards | | 6 | 1 | 1 | u | 6 | 500 € | 3 000,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 4 455,60 € | |
| | **TOTAL LOT 3** | | | | | | | | | 4 455,60 € |

## LOT 4 - PLOMBERIE ET EAU

### 4.1 PLOMBERIE SANITAIRE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distribution eau potable en cuivre | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 41 € | 5 407,50 € | | |
| Distribution evacuation Eaux Vannes-Eaux Usees | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 23 € | 2 967,84 € | | |
| Arrivée generale Eau Potable + brachement compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 315 € | 1 315,00 € | | |
| Robinetterie | | 10 | 1 | 1 | u | 10 | 1 050 € | ########## | | |
| Sanitaires-WC | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 190 € | 570,18 € | | |
| Douche/baignoire | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 416 € | 1 246,69 € | | |
| Lavabo | | 4 | 1 | 1 | u | 4 | 426 € | 1 702,05 € | | |
| Evier cuisine | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 163 € | 163,48 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 23 872,74 € | |
| | **TOTAL LOT 4** | | | | | | | | | 23 872,74 € |

## LOT 5 - CONFORT THERMIQUE ET QUALITE DE L'AIR

### 5.1 CVC

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Climatisation : chiller + splits muraux ( 1 ensemble par etage | | 2 | 1 | 1 | u | 2 | 6 196 € | ########## | | |
| Chauffe-eau thermodynamique - Gaz | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 2 785 € | 2 785,14 € | | |
| VMC Simple flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 660 € | 659,79 € | | |
| VMC double flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| VMC distribution des gaines | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 15 836,93 € | |
| | **TOTAL LOT 5** | | | | | | | | | 15 836,93 € |

## LOT 6 - ELECTRICITE

### 6.1 ELECTRICITE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Branchements reseaux generale + compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 10 667 € | ########## | | |
| Appareillage : prises, rg45,.. | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 113 € | 2 260,00 € | | |
| Eclairage | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 103 € | 2 066,67 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 993,33 € | |
| | **TOTAL LOT 6** | | | | | | | | | 14 993,33 € |

## LOT 7 - ELECTROMENAGERS ET ACCESOIRES

### 7.1 ELECTROMENAGERS

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frigo | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 950 € | 950,00 € | | |
| Lavevaisselle | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 650 € | 650,00 € | | |
| Lavelinge | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Microondes | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 250 € | 250,00 € | | |
| Television | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Feux electriques | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 320 € | 320,00 € | | |
| Four | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 100 € | 1 100,00 € | | |
| Ordinateurs | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 3 000 € | 3 000,00 € | | |
| AUTRE : - | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 7 970,00 € | |
| | **TOTAL LOT 7** | | | | | | | | | 7 970,00 € |

| | | |
|---|---|---|
| Hauteur entre planchers | 3,15 | m |
| Longueur exterieure | 12,5 | m |
| Largeur exterieure | 10,5 | m |
| Epaisseur structure | 0,2 | m |
| Epaisseur Planchers portés | 0,25 | m |
| Epaisseur Dalle sur Terre pleine | 0,15 | m |
| Epaisseur isolant murs | 0,1 | m |
| Epaisseur isolant toiture | 0,2 | m |
| Epaisseur isolant sol PbRdC | 0 | m |
| Lineaire de cloisons interieurs | 75 | m |
| Surface des murs RdC | 144,9 | m² |
| Surface des murs R+1 | 144,9 | m² |
| dim. petites fenetres 1,8 | 1,5 | m |
| dim. grandes fenetres 1,8 | 2,5 | m |
| Surfaces petites | 2,7 | m² |
| Surfaces grandes | 4,5 | m² |
| Surface des fenetres NORD | 19,8 | m² |
| Surface des fenetres SUD | 15,3 | m² |
| Surface des fenetres EST | 25,2 | m² |
| Surface des fenetres OUEST | 25,2 | m² |
| **Taux d'ouverture TOTAL** | **30%** | |
| Taux d'ouverture NORD | 30% | |
| Taux d'ouverture SUD | 23% | |
| Taux d'ouverture EST | 32% | |
| Taux d'ouverture OUEST | 32% | |
| Nombre de fenetres | 27 | u |

| | |
|---|---|
| **TOTAL PROJET** | **322671,6 €H** |
| **TOTAL m2** | **223,12 m** |
| **RATIO €/m2** | **1446 €/** |
| **variation s/ Base:** | **38024 €I** |

**MODELE : VARIANTE PROTECTION EXTERIEURE ENCADREMENT 100 CM**

| CODE | LIBELLÉ | DIM 1 | DIM2 | DIM3 | U | Q | PU | TOTAL HT | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **LOT 1 - ENVELOPPE EXTERIEUR** | | | | | | | | | |
| **1.1** | **MAÇONNERIE-FONDATIONS** | | | | | | | | |
| | Plateforme et terrassement | 12,5 | 10,5 | 1 | m² | 131 | 34 € | 4 459,88 € | |
| | Semelles filantes en béton armé | 46 | 0,5 | 0,4 | m³ | 9 | 378 € | 3 476,07 € | |
| | Murs du sous-bassement bloc beton | 46 | 0,5 | 1 | m² | 23 | 57 € | 1 304,05 € | |
| | Drain peripherique | 12,5 | 10,5 | 2 | ml | 46 | 43 € | 1 960,21 € | |
| | VRD Eaux vannes | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 863 € | 1 863,47 € | |
| | VRD Eaux usées | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 803 € | 802,95 € | |
| | VRD Eaux Pluviales | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 953 € | 952,70 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 819,33 € |
| **1.2** | **MAÇONNERIE-PLANCHER BAS DU RDC** | | | | | | | | |
| | Sable pour couche de forme | 12,5 | 10,5 | 0,2 | m³ | 26 | 16 € | 415,28 € | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 12,5 | 10,5 | 0 | m³ | 0 | 316 € | 0,00 € | |
| | Dalle béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,15 | m³ | 20 | 79 € | 1 552,06 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 13 239,13 € |
| **1.3** | **MAÇONNERIE-PLANCHER HAUT DU RDC** | | | | | | | | |
| | Peinture | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 14 € | 1 628,53 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 34 € | 3 968,55 € | |
| | Dalle portée béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m³ | 33 | 79 € | 2 586,77 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 19 455,64 € |
| **1.4** | **MURS EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 14 € | 2 313,75 € | |
| | Platre enduite sur bloc beton | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 26 € | 4 301,67 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,10 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 54 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 6,3 | 44,4 | 0,1 | m³ | 19 | 316 € | 6 144,66 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,20 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 57 € | ########## | |
| | Rupteur Pont Thermique XPS ép.100mm R=2,88 | 0 | 44,4 | 2 | ml | 0 | 100 € | 0,00 € | |
| | Pare-vapeur ( en climat chaud ext isolation ) | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 24 € | 4 705,95 € | |
| | Enduit exterieur etanche | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 30 € | 5 836,31 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 44 712,37 € |
| **1.5** | **TOITURE** | | | | | | | | |
| | Peinture plafond | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 40 € | 9 424,80 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 26 € | 6 151,53 € | |
| | Plancher porté en béton ep:20cm | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m² | 33 | 378 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.200mm R=5,7 | 11,9 | 9,9 | 0,2 | m³ | 24 | 316 € | 7 454,45 € | |
| | Étanchéité toiture bitumineuse | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 38 € | 4 485,03 € | |
| | Chape de protection de l'etancheité | 11,9 | 9,9 | 0,1 | m³ | 12 | 53 € | 619,92 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 40 533,39 € |
| **1.6** | **CLOISONS INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 14 € | 3 006,58 € | |
| | Enduit - deux faces | 75 | 2,9 | 2 | m² | 435 | 24 € | ########## | |
| | Mur brique terre cuite alveolaire 0,10 x 0,20 x 0,50 | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 66 € | ########## | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 27 824,05 € |
| | **TOTAL LOT 1** | | | | | | | | 160 583,90 € |
| **LOT 2 - OUVERTURES** | | | | | | | | | |
| **2.1** | **MENUISERIE EXTERIEURE** | | | | | | | | |
| | Fenêtre 2 fermeture a la francaise - double vitrage Ug=2,5W | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 543 € | ########## | |
| | Porte d'entrée U=1 W/Km2 | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 604 € | 1 603,53 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 48 072,12 € |
| **2.2** | **ENCADREMENT EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Encadrement peripherique 1m - ajout 2 bandeaux verticaux | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 598 € | ########## | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 51 170,40 € |
| **2.3** | **RIDEAUX INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Rideau interieur opaque derriere fenetres | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 104 € | 8 863,11 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 8 863,11 € |
| | **TOTAL LOT 2** | | | | | | | | 108 105,63 € |

## LOT3 - AGENCEMENT INTERIEUR

### 3.1 MENUISERIE INTERIEURE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| portes interieures | | 9 | 1 | 1 | u | 9 | 162 € | 1 455,60 € | | |
| placards | | 6 | 1 | 1 | u | 6 | 500 € | 3 000,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 4 455,60 € | |
| | **TOTAL LOT 3** | | | | | | | | | 4 455,60 € |

## LOT 4 - PLOMBERIE ET EAU

### 4.1 PLOMBERIE SANITAIRE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distribution eau potable en cuivre | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 41 € | 5 407,50 € | | |
| Distribution evacuation Eaux Vannes-Eaux Usees | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 23 € | 2 967,84 € | | |
| Arrivée generale Eau Potable + brachement compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 315 € | 1 315,00 € | | |
| Robinetterie | | 10 | 1 | 1 | u | 10 | 1 050 € | ########## | | |
| Sanitaires-WC | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 190 € | 570,18 € | | |
| Douche/baignoire | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 416 € | 1 246,69 € | | |
| Lavabo | | 4 | 1 | 1 | u | 4 | 426 € | 1 702,05 € | | |
| Evier cuisine | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 163 € | 163,48 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 23 872,74 € | |
| | **TOTAL LOT 4** | | | | | | | | | 23 872,74 € |

## LOT 5 - CONFORT THERMIQUE ET QUALITE DE L'AIR

### 5.1 CVC

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Climatisation : chiller + splits muraux ( 1 ensemble par etage | | 2 | 1 | 1 | u | 2 | 6 196 € | ########## | | |
| Chauffe-eau thermodynamique - Gaz | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 2 785 € | 2 785,14 € | | |
| VMC Simple flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 660 € | 659,79 € | | |
| VMC double flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| VMC distribution des gaines | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 15 836,93 € | |
| | **TOTAL LOT 5** | | | | | | | | | 15 836,93 € |

## LOT 6 - ELECTRICITE

### 6.1 ELECTRICITE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Branchements reseaux generale + compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 10 667 € | ########## | | |
| Appareillage : prises, rg45,.. | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 113 € | 2 260,00 € | | |
| Eclairage | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 103 € | 2 066,67 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 993,33 € | |
| | **TOTAL LOT 6** | | | | | | | | | 14 993,33 € |

## LOT 7 - ELECTROMENAGERS ET ACCESOIRES

### 7.1 ELECTROMENAGERS

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frigo | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 950 € | 950,00 € | | |
| Lavevaisselle | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 650 € | 650,00 € | | |
| Lavelinge | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Microondes | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 250 € | 250,00 € | | |
| Television | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Feux electriques | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 320 € | 320,00 € | | |
| Four | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 100 € | 1 100,00 € | | |
| Ordinateurs | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 3 000 € | 3 000,00 € | | |
| AUTRE : - | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 7 970,00 € | |
| | **TOTAL LOT 7** | | | | | | | | | 7 970,00 € |

| | | |
|---|---|---|
| Hauteur entre planchers | 3,15 | m |
| Longueur exterieure | 12,5 | m |
| Largeur exterieure | 10,5 | m |
| Epaisseur structure | 0,2 | m |
| Epaisseur Planchers portés | 0,25 | m |
| Epaisseur Dalle sur Terre pleine | 0,15 | m |
| Epaisseur isolant murs | 0,1 | m |
| Epaisseur isolant toiture | 0,2 | m |
| Epaisseur isolant sol PbRdC | 0 | m |
| Lineaire de cloisons interieurs | 75 | m |
| Surface des murs RdC | 144,9 | m² |
| Surface des murs R+1 | 144,9 | m² |
| dim. petites fenetres 1,8 | 1,5 | m |
| dim. grandes fenetres 1,8 | 2,5 | m |
| Surfaces petites | 2,7 | m² |
| Surfaces grandes | 4,5 | m² |
| Surface des fenetres NORD | 19,8 | m² |
| Surface des fenetres SUD | 15,3 | m² |
| Surface des fenetres EST | 25,2 | m² |
| Surface des fenetres OUEST | 25,2 | m² |
| **Taux d'ouverture TOTAL** | **30%** | |
| Taux d'ouverture NORD | 30% | |
| Taux d'ouverture SUD | 23% | |
| Taux d'ouverture EST | 32% | |
| Taux d'ouverture OUEST | 32% | |
| Nombre de fenetres | 27 | u |

| | |
|---|---|
| **TOTAL PROJET** | **335818,1 €H** |
| **TOTAL m2** | **223,12 m** |
| **RATIO €/m2** | **1505 €/** |
| **variation s/ Base:** | **51170 €I** |

**MODELE : VARIANTE SANS PROTECTION EXTERIEURE**

| CODE | LIBELLÉ | DIM 1 | DIM2 | DIM3 | U | Q | PU | TOTAL HT | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **LOT 1 - ENVELOPPE EXTERIEUR** | | | | | | | | | | |
| **1.1** | **MAÇONNERIE-FONDATIONS** | | | | | | | | | |
| | Plateforme et terrassement | 12,5 | 10,5 | 1 | m² | 131 | 34 € | 4 459,88 € | | |
| | Semelles filantes en béton armé | 46 | 0,5 | 0,4 | $m^3$ | 9 | 378 € | 3 476,07 € | | |
| | Murs du sous-bassement bloc beton | 46 | 0,5 | 1 | m² | 23 | 57 € | 1 304,05 € | | |
| | Drain peripherique | 12,5 | 10,5 | 2 | ml | 46 | 43 € | 1 960,21 € | | |
| | VRD Eaux vannes | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 863 € | 1 863,47 € | | |
| | VRD Eaux usées | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 803 € | 802,95 € | | |
| | VRD Eaux Pluviales | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 953 € | 952,70 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 819,33 € | |
| **1.2** | **MAÇONNERIE-PLANCHER BAS DU RDC** | | | | | | | | | |
| | Sable pour couche de forme | 12,5 | 10,5 | 0,2 | $m^3$ | 26 | 16 € | 415,28 € | | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 12,5 | 10,5 | 0 | $m^3$ | 0 | 316 € | 0,00 € | | |
| | Dalle béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,15 | $m^3$ | 20 | 79 € | 1 552,06 € | | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 13 239,13 € | |
| **1.3** | **MAÇONNERIE-PLANCHER HAUT DU RDC** | | | | | | | | | |
| | Peinture | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 14 € | 1 628,53 € | | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 34 € | 3 968,55 € | | |
| | Dalle portée béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,25 | $m^3$ | 33 | 79 € | 2 586,77 € | | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 19 455,64 € | |
| **1.4** | **MURS EXTERIEURS** | | | | | | | | | |
| | Peinture | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 14 € | 2 313,75 € | | |
| | Platre enduite sur bloc beton | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 26 € | 4 301,67 € | | |
| | Mur bloc beton creux 0,10 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 54 € | 10 398,15 € | | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 6,3 | 44,4 | 0,1 | $m^3$ | 19 | 316 € | 6 144,66 € | | |
| | Mur bloc beton creux 0,20 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 57 € | 11 011,89 € | | |
| | Rupteur Pont Thermique XPS ép.100mm R=2,88 | 0 | 44,4 | 2 | ml | 0 | 100 € | 0,00 € | | |
| | Pare-vapeur ( en climat chaud ext isolation ) | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 24 € | 4 705,95 € | | |
| | Enduit exterieur etanche | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 30 € | 5 836,31 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 44 712,37 € | |
| **1.5** | **TOITURE** | | | | | | | | | |
| | Peinture plafond | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 40 € | 9 424,80 € | | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 26 € | 6 151,53 € | | |
| | Plancher porté en béton ep:20cm | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m² | 33 | 378 € | 12 397,66 € | | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.200mm R=5,7 | 11,9 | 9,9 | 0,2 | $m^3$ | 24 | 316 € | 7 454,45 € | | |
| | Étanchéité toiture bitumineuse | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 38 € | 4 485,03 € | | |
| | Chape de protection de l'etancheité | 11,9 | 9,9 | 0,1 | $m^3$ | 12 | 53 € | 619,92 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 40 533,39 € | |
| **1.6** | **CLOISONS INTERIEURS** | | | | | | | | | |
| | Peinture | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 14 € | 3 006,58 € | | |
| | Enduit - deux faces | 75 | 2,9 | 2 | m² | 435 | 24 € | 10 558,18 € | | |
| | Mur brique terre cuite alveolaire 0,10 x 0,20 x 0,50 | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 66 € | 14 259,30 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 27 824,05 € | |
| | **TOTAL LOT 1** | | | | | | | | | 160 583,90 € |
| **LOT 2 - OUVERTURES** | | | | | | | | | | |
| **2.1** | **MENUISERIE EXTERIEURE** | | | | | | | | | |
| | Fenêtre 2 fermeture a la francaise - double vitrage Ug=2,5W | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 543 € | 46 468,59 € | | |
| | Porte d'entrée U=1 W/Km2 | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 604 € | 1 603,53 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 48 072,12 € | |
| **2.2** | **BRISE-SOLEIL EXTERIEURS** | | | | | | | | | |
| | Moins value casquette sur fenetre - Sans protection | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | -194 € | -16 569,36 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | -16 569,36 € | |
| **2.3** | **RIDEAUX INTERIEURS** | | | | | | | | | |
| | Rideau interieur opaque derriere fenetres | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 104 € | 8 863,11 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 8 863,11 € | |
| | **TOTAL LOT 2** | | | | | | | | | 40 365,87 € |

## LOT3 - AGENCEMENT INTERIEUR

### 3.1 MENUISERIE INTERIEURE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| portes interieures | | 9 | 1 | 1 | u | 9 | 162 € | 1 455,60 € | | |
| placards | | 6 | 1 | 1 | u | 6 | 500 € | 3 000,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 4 455,60 € | |
| | **TOTAL LOT 3** | | | | | | | | | 4 455,60 € |

## LOT 4 - PLOMBERIE ET EAU

### 4.1 PLOMBERIE SANITAIRE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distribution eau potable en cuivre | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 41 € | 5 407,50 € | | |
| Distribution evacuation Eaux Vannes-Eaux Usees | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 23 € | 2 967,84 € | | |
| Arrivée generale Eau Potable + brachement compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 315 € | 1 315,00 € | | |
| Robinetterie | | 10 | 1 | 1 | u | 10 | 1 050 € | 10 500,00 € | | |
| Sanitaires-WC | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 190 € | 570,18 € | | |
| Douche/baignoire | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 416 € | 1 246,69 € | | |
| Lavabo | | 4 | 1 | 1 | u | 4 | 426 € | 1 702,05 € | | |
| Evier cuisine | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 163 € | 163,48 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 23 872,74 € | |
| | **TOTAL LOT 4** | | | | | | | | | 23 872,74 € |

## LOT 5 - CONFORT THERMIQUE ET QUALITE DE L'AIR

### 5.1 CVC

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Climatisation : chiller + splits muraux ( 1 ensemble par etage | | 2 | 1 | 1 | u | 2 | 6 196 € | 12 392,00 € | | |
| Chauffe-eau thermodynamique - Gaz | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 2 785 € | 2 785,14 € | | |
| VMC Simple flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 660 € | 659,79 € | | |
| VMC double flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| VMC distribution des gaines | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 15 836,93 € | |
| | **TOTAL LOT 5** | | | | | | | | | 15 836,93 € |

## LOT 6 - ELECTRICITE

### 6.1 ELECTRICITE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Branchements reseaux generale + compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 10 667 € | 10 666,67 € | | |
| Appareillage : prises, rg45,.. | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 113 € | 2 260,00 € | | |
| Eclairage | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 103 € | 2 066,67 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 993,33 € | |
| | **TOTAL LOT 6** | | | | | | | | | 14 993,33 € |

## LOT 7 - ELECTROMENAGERS ET ACCESOIRES

### 7.1 ELECTROMENAGERS

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frigo | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 950 € | 950,00 € | | |
| Lavevaisselle | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 650 € | 650,00 € | | |
| Lavelinge | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Microondes | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 250 € | 250,00 € | | |
| Television | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Feux electriques | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 320 € | 320,00 € | | |
| Four | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 100 € | 1 100,00 € | | |
| Ordinateurs | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 3 000 € | 3 000,00 € | | |
| AUTRE : - | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 7 970,00 € | |
| | **TOTAL LOT 7** | | | | | | | | | 7 970,00 € |

| | | |
|---|---|---|
| Hauteur entre planchers | 3,15 | m |
| Longueur exterieure | 12,5 | m |
| Largeur exterieure | 10,5 | m |
| Epaisseur structure | 0,2 | m |
| Epaisseur Planchers portés | 0,25 | m |
| Epaisseur Dalle sur Terre pleine | 0,15 | m |
| Epaisseur isolant murs | 0,1 | m |
| Epaisseur isolant toiture | 0,2 | m |
| Epaisseur isolant sol PbRdC | 0 | m |
| Lineaire de cloisons interieurs | 75 | m |
| Surface des murs RdC | 144,9 | m² |
| Surface des murs R+1 | 144,9 | m² |
| dim. petites fenetres 1,8 | 1,5 | m |
| dim. grandes fenetres 1,8 | 2,5 | m |
| Surfaces petites | 2,7 | m² |
| Surfaces grandes | 4,5 | m² |
| Surface des fenetres NORD | 19,8 | m² |
| Surface des fenetres SUD | 15,3 | m² |
| Surface des fenetres EST | 25,2 | m² |
| Surface des fenetres OUEST | 25,2 | m² |
| **Taux d'ouverture TOTAL** | **30%** | |
| Taux d'ouverture NORD | 30% | |
| Taux d'ouverture SUD | 23% | |
| Taux d'ouverture EST | 32% | |
| Taux d'ouverture OUEST | 32% | |
| Nombre de fenetres | 27 | u |

| | |
|---|---|
| **TOTAL PROJET** | **268078,4 €** |
| **TOTAL m2** | **223,12 r** |
| **RATIO €/m2** | **1201 €** |
| **variation s/ Base:** | **-16569 €** |

**MODELE : VARIANTE PROTECTION INTERIEURE RIDEAUX HIGH REFLECTANCE**

| CODE | LIBELLÉ | DIM 1 | DIM2 | DIM3 | U | Q | PU | TOTAL HT | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **LOT 1 - ENVELOPPE EXTERIEUR** | | | | | | | | | | |
| **1.1** | **MAÇONNERIE-FONDATIONS** | | | | | | | | | |
| | Plateforme et terrassement | 12,5 | 10,5 | 1 | m² | 131 | 34 € | 4 459,88 € | | |
| | Semelles filantes en béton armé | 46 | 0,5 | 0,4 | m³ | 9 | 378 € | 3 476,07 € | | |
| | Murs du sous-bassement bloc beton | 46 | 0,5 | 1 | m² | 23 | 57 € | 1 304,05 € | | |
| | Drain peripherique | 12,5 | 10,5 | 2 | ml | 46 | 43 € | 1 960,21 € | | |
| | VRD Eaux vannes | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 863 € | 1 863,47 € | | |
| | VRD Eaux usées | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 803 € | 802,95 € | | |
| | VRD Eaux Pluviales | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 953 € | 952,70 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 819,33 € | |
| **1.2** | **MAÇONNERIE-PLANCHER BAS DU RDC** | | | | | | | | | |
| | Sable pour couche de forme | 12,5 | 10,5 | 0,2 | m³ | 26 | 16 € | 415,28 € | | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 12,5 | 10,5 | 0 | m³ | 0 | 316 € | 0,00 € | | |
| | Dalle béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,15 | m³ | 20 | 79 € | 1 552,06 € | | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 13 239,13 € | |
| **1.3** | **MAÇONNERIE-PLANCHER HAUT DU RDC** | | | | | | | | | |
| | Peinture | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 14 € | 1 628,53 € | | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 34 € | 3 968,55 € | | |
| | Dalle portée béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m³ | 33 | 79 € | 2 586,77 € | | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 19 455,64 € | |
| **1.4** | **MURS EXTERIEURS** | | | | | | | | | |
| | Peinture | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 14 € | 2 313,75 € | | |
| | Platre enduite sur bloc beton | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 26 € | 4 301,67 € | | |
| | Mur bloc beton creux 0,10 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 54 € | ########## | | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 6,3 | 44,4 | 0,1 | m³ | 19 | 316 € | 6 144,66 € | | |
| | Mur bloc beton creux 0,20 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 57 € | ########## | | |
| | Rupteur Pont Thermique XPS ép.100mm R=2,88 | 0 | 44,4 | 2 | ml | 0 | 100 € | 0,00 € | | |
| | Pare-vapeur ( en climat chaud ext isolation ) | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 24 € | 4 705,95 € | | |
| | Enduit exterieur etanche | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 30 € | 5 836,31 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 44 712,37 € | |
| **1.5** | **TOITURE** | | | | | | | | | |
| | Peinture plafond | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 40 € | 9 424,80 € | | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 26 € | 6 151,53 € | | |
| | Plancher porté en béton ep:20cm | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m² | 33 | 378 € | ########## | | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.200mm R=5,7 | 11,9 | 9,9 | 0,2 | m³ | 24 | 316 € | 7 454,45 € | | |
| | Étanchéité toiture bitumineuse | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 38 € | 4 485,03 € | | |
| | Chape de protection de l'etancheité | 11,9 | 9,9 | 0,1 | m³ | 12 | 53 € | 619,92 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 40 533,39 € | |
| **1.6** | **CLOISONS INTERIEURS** | | | | | | | | | |
| | Peinture | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 14 € | 3 006,58 € | | |
| | Enduit - deux faces | 75 | 2,9 | 2 | m² | 435 | 24 € | ########## | | |
| | Mur brique terre cuite alveolaire 0,10 x 0,20 x 0,50 | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 66 € | ########## | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 27 824,05 € | |
| | **TOTAL LOT 1** | | | | | | | | | 160 583,90 |
| **LOT 2 - OUVERTURES** | | | | | | | | | | |
| **2.1** | **MENUISERIE EXTERIEURE** | | | | | | | | | |
| | Fenêtre 2 fermeture a la francaise - double vitrage Ug=2,5W | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 543 € | ########## | | |
| | Porte d'entrée U=1 W/Km2 | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 604 € | 1 603,53 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 48 072,12 € | |
| **2.2** | **BRISE-SOLEIL EXTERIEURS** | | | | | | | | | |
| | Brise-soleil sur fenetres | 85,5 | 0 | 1 | m2 | 0 | 318 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 0,00 € | |
| **2.3** | **RIDEAUX INTERIEURS** | | | | | | | | | |
| | Rideau interieur reflectante derriere fenetres | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 124 € | ########## | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 10 635,73 € | |
| | **TOTAL LOT 2** | | | | | | | | | 58 707,85 |

## LOT3 - AGENCEMENT INTERIEUR

### 3.1 MENUISERIE INTERIEURE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| portes interieures | | 9 | 1 | 1 | u | 9 | 162 € | 1 455,60 € | | |
| placards | | 6 | 1 | 1 | u | 6 | 500 € | 3 000,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 4 455,60 € | |
| | **TOTAL LOT 3** | | | | | | | | | 4 455,60 |

## LOT 4 - PLOMBERIE ET EAU

### 4.1 PLOMBERIE SANITAIRE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distribution eau potable en cuivre | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 41 € | 5 407,50 € | | |
| Distribution evacuation Eaux Vannes-Eaux Usees | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 23 € | 2 967,84 € | | |
| Arrivée generale Eau Potable + brachement compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 315 € | 1 315,00 € | | |
| Robinetterie | | 10 | 1 | 1 | u | 10 | 1 050 € | ########## | | |
| Sanitaires-WC | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 190 € | 570,18 € | | |
| Douche/baignoire | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 416 € | 1 246,69 € | | |
| Lavabo | | 4 | 1 | 1 | u | 4 | 426 € | 1 702,05 € | | |
| Evier cuisine | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 163 € | 163,48 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 23 872,74 € | |
| | **TOTAL LOT 4** | | | | | | | | | 23 872,74 |

## LOT 5 - CONFORT THERMIQUE ET QUALITE DE L'AIR

### 5.1 CVC

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Climatisation : chiller + splits muraux ( 1 ensemble par etage | | 2 | 1 | 1 | u | 2 | 6 196 € | ########## | | |
| Chauffe-eau thermodynamique - Gaz | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 2 785 € | 2 785,14 € | | |
| VMC Simple flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 660 € | 659,79 € | | |
| VMC double flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| VMC distribution des gaines | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 15 836,93 € | |
| | **TOTAL LOT 5** | | | | | | | | | 15 836,93 |

## LOT 6 - ELECTRICITE

### 6.1 ELECTRICITE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Branchements reseaux generale + compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 10 667 € | ########## | | |
| Appareillage : prises, rg45,.. | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 113 € | 2 260,00 € | | |
| Eclairage | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 103 € | 2 066,67 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 993,33 € | |
| | **TOTAL LOT 6** | | | | | | | | | 14 993,33 |

## LOT 7 - ELECTROMENAGERS ET ACCESOIRES

### 7.1 ELECTROMENAGERS

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frigo | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 950 € | 950,00 € | | |
| Lavevaisselle | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 650 € | 650,00 € | | |
| Lavelinge | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Microondes | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 250 € | 250,00 € | | |
| Television | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Feux electriques | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 320 € | 320,00 € | | |
| Four | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 100 € | 1 100,00 € | | |
| Ordinateurs | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 3 000 € | 3 000,00 € | | |
| AUTRE : - | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 7 970,00 € | |
| | **TOTAL LOT 7** | | | | | | | | | 7 970,00 |

| | | |
|---|---|---|
| Hauteur entre planchers | 3,15 | m |
| Longueur exterieure | 12,5 | m |
| Largeur exterieure | 10,5 | m |
| Epaisseur structure | 0,2 | m |
| Epaisseur Planchers portés | 0,25 | m |
| Epaisseur Dalle sur Terre pleine | 0,15 | m |
| Epaisseur isolant murs | 0,1 | m |
| Epaisseur isolant toiture | 0,2 | m |
| Epaisseur isolant sol PbRdC | 0 | m |
| Lineaire de cloisons interieurs | 75 | m |
| Surface des murs RdC | 144,9 | m² |
| Surface des murs R+1 | 144,9 | m² |
| dim. petites fenetres 1,8 | 1,5 | m |
| dim. grandes fenetres 1,8 | 2,5 | m |
| Surfaces petites | 2,7 | m² |
| Surfaces grandes | 4,5 | m² |
| Surface des fenetres NORD | 19,8 | m² |
| Surface des fenetres SUD | 15,3 | m² |
| Surface des fenetres EST | 25,2 | m² |
| Surface des fenetres OUEST | 25,2 | m² |
| **Taux d'ouverture TOTAL** | **30%** | |
| Taux d'ouverture NORD | 30% | |
| Taux d'ouverture SUD | 23% | |
| Taux d'ouverture EST | 32% | |
| Taux d'ouverture OUEST | 32% | |
| Nombre de fenetres | 27 | u |

| | |
|---|---|
| **TOTAL PROJET** | **286420,** |
| **TOTAL m2** | **223,1** |
| **RATIO €/m2** | **128** |
| **variation s/ Base:** | **1772,** |

**MODELE : NON ISOLATION**

| CODE | LIBELLÉ | DIM 1 | DIM2 | DIM3 | U | Q | PU | TOTAL HT | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LOT 1 - ENVELOPPE EXTERIEUR | | | | | | | | | |
| 1.1 | **MAÇONNERIE-FONDATIONS** | | | | | | | | |
| | Plateforme et terrassement | 12,5 | 10,5 | 1 | m² | 131 | 34 € | 4 459,88 € | |
| | Semelles filantes en béton armé | 46 | 0,5 | 0,4 | m³ | 9 | 378 € | 3 476,07 € | |
| | Murs du sous-bassement bloc beton | 46 | 0,5 | 1 | m² | 23 | 57 € | 1 304,05 € | |
| | Drain peripherique | 12,5 | 10,5 | 2 | ml | 46 | 43 € | 1 960,21 € | |
| | VRD Eaux vannes | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 863 € | 1 863,47 € | |
| | VRD Eaux usées | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 803 € | 802,95 € | |
| | VRD Eaux Pluviales | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 953 € | 952,70 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 819,33 € |
| 1.2 | **MAÇONNERIE-PLANCHER BAS DU RDC** | | | | | | | | |
| | Sable pour couche de forme | 12,5 | 10,5 | 0,2 | m³ | 26 | 16 € | 415,28 € | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 12,5 | 10,5 | 0 | m³ | 0 | 316 € | 0,00 € | |
| | Dalle béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,15 | m³ | 20 | 79 € | 1 552,06 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 12,1 | 10,1 | 1 | m² | 122 | 24 € | 2 900,45 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 12,1 | 10,1 | 1 | m² | 122 | 26 € | 3 190,64 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 13 458,43 € |
| 1.3 | **MAÇONNERIE-PLANCHER HAUT DU RDC** | | | | | | | | |
| | Peinture | 12,1 | 10,1 | 1 | m² | 122 | 14 € | 1 689,35 € | |
| | Faux plafond en platre | 12,1 | 10,1 | 1 | m² | 122 | 34 € | 4 116,77 € | |
| | Dalle portée béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m³ | 33 | 79 € | 2 586,77 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 12,1 | 10,1 | 1 | m² | 122 | 24 € | 2 900,45 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 12,1 | 10,1 | 1 | m² | 122 | 26 € | 3 190,64 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 19 883,98 € |
| 1.4 | **MURS EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture | 5,8 | 44,4 | 1 | m² | 172 | 14 € | 2 377,89 € | |
| | Platre enduite sur bloc beton | 5,8 | 44,4 | 1 | m² | 172 | 26 € | 4 420,91 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,10 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 54 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.200mm R=5,7 | 6,3 | 44,4 | 0 | m³ | 0 | 316 € | 0,00 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,20 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 57 € | ########## | |
| | Rupteur Pont Thermique XPS ép.100mm R=2,88 | 0 | 44,4 | 0 | ml | 0 | 100 € | 0,00 € | |
| | Pare-vapeur ( en climat chaud ext isolation ) | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 24 € | 4 705,95 € | |
| | Enduit exterieur etanche | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 30 € | 5 836,31 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 38 751,10 € |
| 1.5 | **TOITURE** | | | | | | | | |
| | Peinture plafond | 12,1 | 10,1 | 2 | m² | 244 | 40 € | 9 776,80 € | |
| | Faux plafond en platre | 12,1 | 10,1 | 2 | m² | 244 | 26 € | 6 381,28 € | |
| | Plancher porté en béton ep:20cm | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m² | 33 | 378 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.200mm R=5,7 | 12,1 | 10,1 | 0 | m³ | 0 | 316 € | 0,00 € | |
| | Étanchéité toiture bitumineuse | 12,1 | 10,1 | 1 | m² | 122 | 38 € | 4 652,53 € | |
| | Chape de protection de l'etancheité | 12,1 | 10,1 | 0,1 | m³ | 12 | 53 € | 643,07 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 33 851,34 € |
| 1.6 | **CLOISONS INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 14 € | 3 006,58 € | |
| | Enduit - deux faces | 75 | 2,9 | 2 | m² | 435 | 24 € | ########## | |
| | Mur brique terre cuite alveolaire 0,10 x 0,20 x 0,50 | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 66 € | ########## | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 27 824,05 € |
| | **TOTAL LOT 1** | | | | | | | | 148 588,23 € |
| LOT 2 - OUVERTURES | | | | | | | | | |
| 2.1 | **MENUISERIE EXTERIEURE** | | | | | | | | |
| | Fenêtre 2 fermeture a la francaise - double vitrage Ug=2,5W | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 543 € | ########## | |
| | Porte d'entrée U=1 W/Km2 | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 604 € | 1 603,53 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 48 072,12 € |
| 2.2 | **BRISE-SOLEIL EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Brise-soleil sur fenetres | 85,5 | 0 | 1 | m2 | 0 | 318 € | 0,00 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 0,00 € |
| 2.3 | **RIDEAUX INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Rideau interieur opaque derriere fenetres | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 104 € | 8 863,11 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 8 863,11 € |
| | **TOTAL LOT 2** | | | | | | | | 56 935,23 € |

## LOT3 - AGENCEMENT INTERIEUR

### 3.1 MENUISERIE INTERIEURE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| portes interieures | | 9 | 1 | 1 | u | 9 | 162 € | 1 455,60 € | | |
| placards | | 6 | 1 | 1 | u | 6 | 500 € | 3 000,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 4 455,60 € | |
| | **TOTAL LOT 3** | | | | | | | | | 4 455,60 € |

## LOT 4 - PLOMBERIE ET EAU

### 4.1 PLOMBERIE SANITAIRE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distribution eau potable en cuivre | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 41 € | 5 407,50 € | | |
| Distribution evacuation Eaux Vannes-Eaux Usees | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 23 € | 2 967,84 € | | |
| Arrivée generale Eau Potable + brachement compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 315 € | 1 315,00 € | | |
| Robinetterie | | 10 | 1 | 1 | u | 10 | 1 050 € | ########## | | |
| Sanitaires-WC | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 190 € | 570,18 € | | |
| Douche/baignoire | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 416 € | 1 246,69 € | | |
| Lavabo | | 4 | 1 | 1 | u | 4 | 426 € | 1 702,05 € | | |
| Evier cuisine | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 163 € | 163,48 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 23 872,74 € | |
| | **TOTAL LOT 4** | | | | | | | | | 23 872,74 € |

## LOT 5 - CONFORT THERMIQUE ET QUALITE DE L'AIR

### 5.1 CVC

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Climatisation : chiller + splits muraux ( 1 ensemble par etage | | 2 | 1 | 1 | u | 2 | 6 196 € | ########## | | |
| Chauffe-eau thermodynamique - Gaz | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 2 785 € | 2 785,14 € | | |
| VMC Simple flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 660 € | 659,79 € | | |
| VMC double flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| VMC distribution des gaines | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 15 836,93 € | |
| | **TOTAL LOT 5** | | | | | | | | | 15 836,93 € |

## LOT 6 - ELECTRICITE

### 6.1 ELECTRICITE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Branchements reseaux generale + compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 10 667 € | ########## | | |
| Appareillage : prises, rg45,.. | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 113 € | 2 260,00 € | | |
| Eclairage | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 103 € | 2 066,67 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 993,33 € | |
| | **TOTAL LOT 6** | | | | | | | | | 14 993,33 € |

## LOT 7 - ELECTROMENAGERS ET ACCESOIRES

### 7.1 ELECTROMENAGERS

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frigo | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 950 € | 950,00 € | | |
| Lavevaisselle | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 650 € | 650,00 € | | |
| Lavelinge | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Microondes | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 250 € | 250,00 € | | |
| Television | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Feux electriques | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 320 € | 320,00 € | | |
| Four | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 100 € | 1 100,00 € | | |
| Ordinateurs | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 3 000 € | 3 000,00 € | | |
| AUTRE : - | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 7 970,00 € | |
| | **TOTAL LOT 7** | | | | | | | | | 7 970,00 € |

| | | |
|---|---|---|
| Hauteur entre planchers | 3,15 | m |
| Longueur exterieure | 12,5 | m |
| Largeur exterieure | 10,5 | m |
| Epaisseur structure | 0,2 | m |
| Epaisseur Planchers portés | 0,25 | m |
| Epaisseur Dalle sur Terre pleine | 0,15 | m |
| Epaisseur isolant murs | 0 | m |
| Epaisseur isolant toiture | 0 | m |
| Epaisseur isolant sol PbRdC | 0 | m |
| Lineaire de cloisons interieurs | 75 | m |
| Surface des murs RdC | 144,9 | m² |
| Surface des murs R+1 | 144,9 | m² |
| dim. petites fenetres 1,8 | 1,5 | m |
| dim. grandes fenetres 1,8 | 2,5 | m |
| Surfaces petites | 2,7 | m² |
| Surfaces grandes | 4,5 | m² |
| Surface des fenetres NORD | 19,8 | m² |
| Surface des fenetres SUD | 15,3 | m² |
| Surface des fenetres EST | 25,2 | m² |
| Surface des fenetres OUEST | 25,2 | m² |
| **Taux d'ouverture TOTAL** | **30%** | |
| Taux d'ouverture NORD | 30% | |
| Taux d'ouverture SUD | 23% | |
| Taux d'ouverture EST | 32% | |
| Taux d'ouverture OUEST | 32% | |
| Nombre de fenetres | 27 | u |

| | |
|---|---|
| **TOTAL PROJET** | **272652,1 €H** |
| **TOTAL m2** | **223,12 m** |
| **RATIO €/m2** | **1222 €/** |
| **variation s/ Base:** | **-11996 €I** |

**MODELE : VARIANTE SUR-ISOLATION FAIBLE 5cm murs 10cm toiture**

| CODE | LIBELLÉ | DIM 1 | DIM2 | DIM3 | U | Q | PU | TOTAL HT | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **LOT 1 - ENVELOPPE EXTERIEUR** | | | | | | | | | |
| **1.1** | **MAÇONNERIE-FONDATIONS** | | | | | | | | |
| | Plateforme et terrassement | 12,5 | 10,5 | 1 | m² | 131 | 34 € | 4 459,88 € | |
| | Semelles filantes en béton armé | 46 | 0,5 | 0,4 | m³ | 9 | 378 € | 3 476,07 € | |
| | Murs du sous-bassement bloc beton | 46 | 0,5 | 1 | m² | 23 | 57 € | 1 304,05 € | |
| | Drain peripherique | 12,5 | 10,5 | 2 | ml | 46 | 43 € | 1 960,21 € | |
| | VRD Eaux vannes | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 863 € | 1 863,47 € | |
| | VRD Eaux usées | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 803 € | 802,95 € | |
| | VRD Eaux Pluviales | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 953 € | 952,70 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 819,33 € |
| **1.2** | **MAÇONNERIE-PLANCHER BAS DU RDC** | | | | | | | | |
| | Sable pour couche de forme | 12,5 | 10,5 | 0,2 | m³ | 26 | 16 € | 415,28 € | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 12,5 | 10,5 | 0 | m³ | 0 | 316 € | 0,00 € | |
| | Dalle béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,15 | m³ | 20 | 79 € | 1 552,06 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 12 | 10 | 1 | m² | 120 | 24 € | 2 848,00 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 12 | 10 | 1 | m² | 120 | 26 € | 3 132,94 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 13 348,28 € |
| **1.3** | **MAÇONNERIE-PLANCHER HAUT DU RDC** | | | | | | | | |
| | Peinture | 12 | 10 | 1 | m² | 120 | 14 € | 1 658,80 € | |
| | Faux plafond en platre | 12 | 10 | 1 | m² | 120 | 34 € | 4 042,32 € | |
| | Dalle portée béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m³ | 33 | 79 € | 2 586,77 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 12 | 10 | 1 | m² | 120 | 24 € | 2 848,00 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 12 | 10 | 1 | m² | 120 | 26 € | 3 132,94 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 19 668,84 € |
| **1.4** | **MURS EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture | 5,8 | 44 | 1 | m² | 170 | 14 € | 2 345,82 € | |
| | Platre enduite sur bloc beton | 5,8 | 44 | 1 | m² | 170 | 26 € | 4 361,29 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,10 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 54 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.200mm R=5,7 | 6,3 | 44,4 | 0,05 | m³ | 10 | 316 € | 3 072,33 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,20 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 57 € | ########## | |
| | Rupteur Pont Thermique XPS ép.100mm R=2,88 | 0 | 44,4 | 2 | ml | 0 | 100 € | 0,00 € | |
| | Pare-vapeur ( en climat chaud ext isolation ) | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 24 € | 4 705,95 € | |
| | Enduit exterieur etanche | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 30 € | 5 836,31 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 41 731,74 € |
| **1.5** | **TOITURE** | | | | | | | | |
| | Peinture plafond | 12 | 10 | 2 | m² | 240 | 40 € | 9 600,00 € | |
| | Faux plafond en platre | 12 | 10 | 2 | m² | 240 | 26 € | 6 265,89 € | |
| | Plancher porté en béton ep:20cm | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m² | 33 | 378 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.200mm R=5,7 | 12 | 10 | 0,1 | m³ | 12 | 316 € | 3 796,51 € | |
| | Étanchéité toiture bitumineuse | 12 | 10 | 1 | m² | 120 | 38 € | 4 568,40 € | |
| | Chape de protection de l'etancheité | 12 | 10 | 0,1 | m³ | 12 | 53 € | 631,44 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 37 259,89 € |
| **1.6** | **CLOISONS INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 14 € | 3 006,58 € | |
| | Enduit - deux faces | 75 | 2,9 | 2 | m² | 435 | 24 € | ########## | |
| | Mur brique terre cuite alveolaire 0,10 x 0,20 x 0,50 | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 66 € | ########## | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 27 824,05 € |
| | **TOTAL LOT 1** | | | | | | | | 154 652,12 € |
| **LOT 2 - OUVERTURES** | | | | | | | | | |
| **2.1** | **MENUISERIE EXTERIEURE** | | | | | | | | |
| | Fenêtre 2 fermeture a la francaise - double vitrage Ug=2,5W | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 543 € | ########## | |
| | Porte d'entrée U=1 W/Km2 | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 604 € | 1 603,53 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 48 072,12 € |
| **2.2** | **BRISE-SOLEIL EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Brise-soleil sur fenetres | 85,5 | 0 | 1 | m2 | 0 | 318 € | 0,00 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 0,00 € |
| **2.3** | **RIDEAUX INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Rideau interieur opaque derriere fenetres | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 104 € | 8 863,11 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 8 863,11 € |
| | **TOTAL LOT 2** | | | | | | | | 56 935,23 € |

## LOT3 - AGENCEMENT INTERIEUR

### 3.1 MENUISERIE INTERIEURE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| portes interieures | | 9 | 1 | 1 | u | 9 | 162 € | 1 455,60 € | | |
| placards | | 6 | 1 | 1 | u | 6 | 500 € | 3 000,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 4 455,60 € | |
| | **TOTAL LOT 3** | | | | | | | | | 4 455,60 € |

## LOT 4 - PLOMBERIE ET EAU

### 4.1 PLOMBERIE SANITAIRE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distribution eau potable en cuivre | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 41 € | 5 407,50 € | | |
| Distribution evacuation Eaux Vannes-Eaux Usees | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 23 € | 2 967,84 € | | |
| Arrivée generale Eau Potable + brachement compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 315 € | 1 315,00 € | | |
| Robinetterie | | 10 | 1 | 1 | u | 10 | 1 050 € | ########## | | |
| Sanitaires-WC | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 190 € | 570,18 € | | |
| Douche/baignoire | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 416 € | 1 246,69 € | | |
| Lavabo | | 4 | 1 | 1 | u | 4 | 426 € | 1 702,05 € | | |
| Evier cuisine | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 163 € | 163,48 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 23 872,74 € | |
| | **TOTAL LOT 4** | | | | | | | | | 23 872,74 € |

## LOT 5 - CONFORT THERMIQUE ET QUALITE DE L'AIR

### 5.1 CVC

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Climatisation : chiller + splits muraux ( 1 ensemble par etage | | 2 | 1 | 1 | u | 2 | 6 196 € | ########## | | |
| Chauffe-eau thermodynamique - Gaz | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 2 785 € | 2 785,14 € | | |
| VMC Simple flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 660 € | 659,79 € | | |
| VMC double flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| VMC distribution des gaines | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 15 836,93 € | |
| | **TOTAL LOT 5** | | | | | | | | | 15 836,93 € |

## LOT 6 - ELECTRICITE

### 6.1 ELECTRICITE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Branchements reseaux generale + compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 10 667 € | ########## | | |
| Appareillage : prises, rg45,.. | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 113 € | 2 260,00 € | | |
| Eclairage | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 103 € | 2 066,67 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 993,33 € | |
| | **TOTAL LOT 6** | | | | | | | | | 14 993,33 € |

## LOT 7 - ELECTROMENAGERS ET ACCESOIRES

### 7.1 ELECTROMENAGERS

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frigo | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 950 € | 950,00 € | | |
| Lavevaisselle | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 650 € | 650,00 € | | |
| Lavelinge | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Microondes | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 250 € | 250,00 € | | |
| Television | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Feux electriques | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 320 € | 320,00 € | | |
| Four | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 100 € | 1 100,00 € | | |
| Ordinateurs | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 3 000 € | 3 000,00 € | | |
| AUTRE : - | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 7 970,00 € | |
| | **TOTAL LOT 7** | | | | | | | | | 7 970,00 € |

| | | |
|---|---|---|
| Hauteur entre planchers | 3,15 | m |
| Longueur exterieure | 12,5 | m |
| Largeur exterieure | 10,5 | m |
| Epaisseur structure | 0,2 | m |
| Epaisseur Planchers portés | 0,25 | m |
| Epaisseur Dalle sur Terre pleine | 0,15 | m |
| Epaisseur isolant murs | 0,05 | m |
| Epaisseur isolant toiture | 0,1 | m |
| Epaisseur isolant sol PbRdC | 0 | m |
| Lineaire de cloisons interieurs | 75 | m |
| Surface des murs RdC | 144,9 | m² |
| Surface des murs R+1 | 144,9 | m² |
| dim. petites fenetres 1,8 | 1,5 | m |
| dim. grandes fenetres 1,8 | 2,5 | m |
| Surfaces petites | 2,7 | m² |
| Surfaces grandes | 4,5 | m² |
| Surface des fenetres NORD | 19,8 | m² |
| Surface des fenetres SUD | 15,3 | m² |
| Surface des fenetres EST | 25,2 | m² |
| Surface des fenetres OUEST | 25,2 | m² |
| **Taux d'ouverture TOTAL** | **30%** | |
| Taux d'ouverture NORD | 30% | |
| Taux d'ouverture SUD | 23% | |
| Taux d'ouverture EST | 32% | |
| Taux d'ouverture OUEST | 32% | |
| Nombre de fenetres | 27 | u |

| | |
|---|---|
| **TOTAL PROJET** | **278715,9 €H** |
| **TOTAL m2** | **223,12 m** |
| **RATIO €/m2** | **1249 €/** |
| **variation s/ Base:** | **-5932 €I** |

**MODELE : VARIANTE SUR-ISOLATION FORTE 20cm murs 30 cm plafond**

| CODE | LIBELLÉ | DIM 1 | DIM2 | DIM3 | U | Q | PU | TOTAL HT | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **LOT 1 - ENVELOPPE EXTERIEUR** | | | | | | | | | | |
| **1.1** | **MAÇONNERIE-FONDATIONS** | | | | | | | | | |
| | Plateforme et terrassement | 12,5 | 10,5 | 1 | m² | 131 | 34 € | 4 459,88 € | | |
| | Semelles filantes en béton armé | 46 | 0,5 | 0,4 | $m^3$ | 9 | 378 € | 3 476,07 € | | |
| | Murs du sous-bassement bloc beton | 46 | 0,5 | 1 | m² | 23 | 57 € | 1 304,05 € | | |
| | Drain peripherique | 12,5 | 10,5 | 2 | ml | 46 | 43 € | 1 960,21 € | | |
| | VRD Eaux vannes | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 863 € | 1 863,47 € | | |
| | VRD Eaux usées | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 803 € | 802,95 € | | |
| | VRD Eaux Pluviales | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 953 € | 952,70 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 819,33 € | |
| **1.2** | **MAÇONNERIE-PLANCHER BAS DU RDC** | | | | | | | | | |
| | Sable pour couche de forme | 12,5 | 10,5 | 0,2 | $m^3$ | 26 | 16 € | 415,28 € | | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 12,5 | 10,5 | 0 | $m^3$ | 0 | 316 € | 0,00 € | | |
| | Dalle béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,15 | $m^3$ | 20 | 79 € | 1 552,06 € | | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 13 239,13 € | |
| **1.3** | **MAÇONNERIE-PLANCHER HAUT DU RDC** | | | | | | | | | |
| | Peinture | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 14 € | 1 628,53 € | | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 34 € | 3 968,55 € | | |
| | Dalle portée béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,25 | $m^3$ | 33 | 79 € | 2 586,77 € | | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 19 455,64 € | |
| **1.4** | **MURS EXTERIEURS** | | | | | | | | | |
| | Peinture | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 14 € | 2 313,75 € | | |
| | Platre enduite sur bloc beton | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 26 € | 4 301,67 € | | |
| | Mur bloc beton creux 0,10 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 54 € | 10 398,15 € | | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 6,3 | 44,4 | 0,1 | $m^3$ | 19 | 316 € | 6 144,66 € | | |
| | Mur bloc beton creux 0,20 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 57 € | 11 011,89 € | | |
| | Rupteur Pont Thermique XPS ép.100mm R=2,88 | 0 | 44,4 | 2 | ml | 0 | 100 € | 0,00 € | | |
| | Pare-vapeur ( en climat chaud ext isolation ) | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 24 € | 4 705,95 € | | |
| | Enduit exterieur etanche | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 30 € | 5 836,31 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 44 712,37 € | |
| **1.5** | **TOITURE** | | | | | | | | | |
| | Peinture plafond | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 40 € | 9 424,80 € | | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 26 € | 6 151,53 € | | |
| | Plancher porté en béton ep:20cm | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m² | 33 | 378 € | 12 397,66 € | | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.200mm R=5,7 | 11,9 | 9,9 | 0,2 | $m^3$ | 24 | 316 € | 7 454,45 € | | |
| | Étanchéité toiture bitumineuse | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 38 € | 4 485,03 € | | |
| | Chape de protection de l'etancheité | 11,9 | 9,9 | 0,1 | $m^3$ | 12 | 53 € | 619,92 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 40 533,39 € | |
| **1.6** | **CLOISONS INTERIEURS** | | | | | | | | | |
| | Peinture | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 14 € | 3 006,58 € | | |
| | Enduit - deux faces | 75 | 2,9 | 2 | m² | 435 | 24 € | 10 558,18 € | | |
| | Mur brique terre cuite alveolaire 0,10 x 0,20 x 0,50 | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 66 € | 14 259,30 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 27 824,05 € | |
| | **TOTAL LOT 1** | | | | | | | | | 160 583,90 € |
| **LOT 2 - OUVERTURES** | | | | | | | | | | |
| **2.1** | **MENUISERIE EXTERIEURE** | | | | | | | | | |
| | Fenêtre 2 fermeture a la francaise - double vitrage Ug=2,5W | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 543 € | 46 468,59 € | | |
| | Porte d'entrée U=1 W/Km2 | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 604 € | 1 603,53 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 48 072,12 € | |
| **2.2** | **BRISE-SOLEIL EXTERIEURS** | | | | | | | | | |
| | Moins value casquette sur fenetre - Sans protection | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | -194 € | -16 569,36 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | -16 569,36 € | |
| **2.3** | **RIDEAUX INTERIEURS** | | | | | | | | | |
| | Rideau interieur opaque derriere fenetres | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 104 € | 8 863,11 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 8 863,11 € | |
| | **TOTAL LOT 2** | | | | | | | | | 40 365,87 € |

## LOT3 - AGENCEMENT INTERIEUR

### 3.1 MENUISERIE INTERIEURE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| portes interieures | | 9 | 1 | 1 | u | 9 | 162 € | 1 455,60 € | | |
| placards | | 6 | 1 | 1 | u | 6 | 500 € | 3 000,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 4 455,60 € | |
| | **TOTAL LOT 3** | | | | | | | | | 4 455,60 € |

## LOT 4 - PLOMBERIE ET EAU

### 4.1 PLOMBERIE SANITAIRE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distribution eau potable en cuivre | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 41 € | 5 407,50 € | | |
| Distribution evacuation Eaux Vannes-Eaux Usees | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 23 € | 2 967,84 € | | |
| Arrivée generale Eau Potable + brachement compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 315 € | 1 315,00 € | | |
| Robinetterie | | 10 | 1 | 1 | u | 10 | 1 050 € | 10 500,00 € | | |
| Sanitaires-WC | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 190 € | 570,18 € | | |
| Douche/baignoire | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 416 € | 1 246,69 € | | |
| Lavabo | | 4 | 1 | 1 | u | 4 | 426 € | 1 702,05 € | | |
| Evier cuisine | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 163 € | 163,48 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 23 872,74 € | |
| | **TOTAL LOT 4** | | | | | | | | | 23 872,74 € |

## LOT 5 - CONFORT THERMIQUE ET QUALITE DE L'AIR

### 5.1 CVC

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Climatisation : chiller + splits muraux ( 1 ensemble par etage | | 2 | 1 | 1 | u | 2 | 6 196 € | 12 392,00 € | | |
| Chauffe-eau thermodynamique - Gaz | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 2 785 € | 2 785,14 € | | |
| VMC Simple flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 660 € | 659,79 € | | |
| VMC double flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| VMC distribution des gaines | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 15 836,93 € | |
| | **TOTAL LOT 5** | | | | | | | | | 15 836,93 € |

## LOT 6 - ELECTRICITE

### 6.1 ELECTRICITE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Branchements reseaux generale + compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 10 667 € | 10 666,67 € | | |
| Appareillage : prises, rg45,.. | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 113 € | 2 260,00 € | | |
| Eclairage | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 103 € | 2 066,67 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 993,33 € | |
| | **TOTAL LOT 6** | | | | | | | | | 14 993,33 € |

## LOT 7 - ELECTROMENAGERS ET ACCESOIRES

### 7.1 ELECTROMENAGERS

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frigo | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 950 € | 950,00 € | | |
| Lavevaisselle | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 650 € | 650,00 € | | |
| Lavelinge | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Microondes | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 250 € | 250,00 € | | |
| Television | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Feux electriques | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 320 € | 320,00 € | | |
| Four | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 100 € | 1 100,00 € | | |
| Ordinateurs | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 3 000 € | 3 000,00 € | | |
| AUTRE : - | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 7 970,00 € | |
| | **TOTAL LOT 7** | | | | | | | | | 7 970,00 € |

| | | |
|---|---|---|
| Hauteur entre planchers | 3,15 | m |
| Longueur exterieure | 12,5 | m |
| Largeur exterieure | 10,5 | m |
| Epaisseur structure | 0,2 | m |
| Epaisseur Planchers portés | 0,25 | m |
| Epaisseur Dalle sur Terre pleine | 0,15 | m |
| Epaisseur isolant murs | 0,1 | m |
| Epaisseur isolant toiture | 0,2 | m |
| Epaisseur isolant sol PbRdC | 0 | m |
| Lineaire de cloisons interieurs | 75 | m |
| Surface des murs RdC | 144,9 | m² |
| Surface des murs R+1 | 144,9 | m² |
| dim. petites fenetres 1,8 | 1,5 | m |
| dim. grandes fenetres 1,8 | 2,5 | m |
| Surfaces petites | 2,7 | m² |
| Surfaces grandes | 4,5 | m² |
| Surface des fenetres NORD | 19,8 | m² |
| Surface des fenetres SUD | 15,3 | m² |
| Surface des fenetres EST | 25,2 | m² |
| Surface des fenetres OUEST | 25,2 | m² |
| **Taux d'ouverture TOTAL** | **30%** | |
| Taux d'ouverture NORD | 30% | |
| Taux d'ouverture SUD | 23% | |
| Taux d'ouverture EST | 32% | |
| Taux d'ouverture OUEST | 32% | |
| Nombre de fenetres | 27 | u |

| | |
|---|---|
| **TOTAL PROJET** | **268078,4 €** |
| **TOTAL m2** | **223,12 r** |
| **RATIO €/m2** | **1201 €** |
| **variation s/ Base:** | **-16569 €** |

**MODELE : VARIANTE ISOLATION PLACHER BAS RdC Ep:20cm**

| CODE | LIBELLÉ | DIM 1 | DIM2 | DIM3 | U | Q | PU | TOTAL HT | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LOT 1 - ENVELOPPE EXTERIEUR | | | | | | | | | | |
| 1.1 | **MAÇONNERIE-FONDATIONS** | | | | | | | | | |
| | Plateforme et terrassement | 12,5 | 10,5 | 1 | m² | 131 | 34 € | 4 459,88 € | | |
| | Semelles filantes en béton armé | 46 | 0,5 | 0,4 | m³ | 9 | 378 € | 3 476,07 € | | |
| | Murs du sous-bassement bloc beton | 46 | 0,5 | 1 | m² | 23 | 57 € | 1 304,05 € | | |
| | Drain peripherique | 12,5 | 10,5 | 2 | ml | 46 | 43 € | 1 960,21 € | | |
| | VRD Eaux vannes | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 863 € | 1 863,47 € | | |
| | VRD Eaux usées | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 803 € | 802,95 € | | |
| | VRD Eaux Pluviales | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 953 € | 952,70 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 819,33 € | |
| 1.2 | **MAÇONNERIE-PLANCHER BAS DU RDC** | | | | | | | | | |
| | Sable pour couche de forme | 12,5 | 10,5 | 0,2 | m³ | 26 | 16 € | 415,28 € | | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 12,5 | 10,5 | 0,1 | m³ | 13 | 316 € | 4 152,44 € | | |
| | Dalle béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,15 | m³ | 20 | 79 € | 1 552,06 € | | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 17 391,57 € | |
| 1.3 | **MAÇONNERIE-PLANCHER HAUT DU RDC** | | | | | | | | | |
| | Peinture | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 14 € | 1 628,53 € | | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 34 € | 3 968,55 € | | |
| | Dalle portée béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m³ | 33 | 79 € | 2 586,77 € | | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 19 455,64 € | |
| 1.4 | **MURS EXTERIEURS** | | | | | | | | | |
| | Peinture interieure | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 14 € | 2 313,75 € | | |
| | Platre enduite sur bloc beton | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 26 € | 4 301,67 € | | |
| | Mur bloc beton creux 0,10 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 54 € | ########## | | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 6,3 | 44,4 | 0,1 | m³ | 19 | 316 € | 6 144,66 € | | |
| | Mur bloc beton creux 0,20 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 57 € | ########## | | |
| | Rupteur Pont Thermique XPS ép.100mm R=2,86 | 0 | 44,4 | 2 | ml | 0 | 100 € | 0,00 € | | |
| | Pare-vapeur ( en climat chaud ext isolation ) | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 24 € | 4 705,95 € | | |
| | Enduit exterieur etanche | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 30 € | 5 836,31 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 44 712,37 € | |
| 1.5 | **TOITURE** | | | | | | | | | |
| | Peinture plafond | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 40 € | 9 424,80 € | | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 26 € | 6 151,53 € | | |
| | Plancher porté en béton ep:20cm | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m² | 33 | 378 € | ########## | | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.200mm R=5,7 | 11,9 | 9,9 | 0,2 | m³ | 24 | 316 € | 7 454,45 € | | |
| | Étanchéité toiture bitumineuse | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 38 € | 4 485,03 € | | |
| | Chape de protection de l'etancheité | 11,9 | 9,9 | 0,1 | m³ | 12 | 53 € | 619,92 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 40 533,39 € | |
| 1.6 | **CLOISONS INTERIEURS** | | | | | | | | | |
| | Peinture | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 14 € | 3 006,58 € | | |
| | Enduit - deux faces | 75 | 2,9 | 2 | m² | 435 | 24 € | ########## | | |
| | Mur brique terre cuite alveolaire 0,10 x 0,20 x 0,50 | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 66 € | ########## | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 27 824,05 € | |
| | **TOTAL LOT 1** | | | | | | | | | 164 736,33 € |
| LOT 2 - OUVERTURES | | | | | | | | | | |
| 2.1 | **MENUISERIE EXTERIEURE** | | | | | | | | | |
| | Fenêtre 2 fermeture a la francaise - double vitrage Ug=2,5W | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 543 € | ########## | | |
| | Porte d'entrée U=1 W/Km2 | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 604 € | 1 603,53 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 48 072,12 € | |
| 2.2 | **BRISE-SOLEIL EXTERIEURS** | | | | | | | | | |
| | Brise-soleil sur fenetres | 85,5 | 0 | 1 | m2 | 0 | 318 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 0,00 € | |
| 2.3 | **RIDEAUX INTERIEURS** | | | | | | | | | |
| | Rideau interieur opaque derriere fenetres | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 104 € | 8 863,11 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 8 863,11 € | |
| | **TOTAL LOT 2** | | | | | | | | | 56 935,23 € |

## LOT3 - AGENCEMENT INTERIEUR

### 3.1 MENUISERIE INTERIEURE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| portes interieures | | 9 | 1 | 1 | u | 9 | 162 € | 1 455,60 € | | |
| placards | | 6 | 1 | 1 | u | 6 | 500 € | 3 000,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 4 455,60 € | |
| | **TOTAL LOT 3** | | | | | | | | | 4 455,60 € |

## LOT 4 - PLOMBERIE ET EAU

### 4.1 PLOMBERIE SANITAIRE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distribution eau potable en cuivre | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 41 € | 5 407,50 € | | |
| Distribution evacuation Eaux Vannes-Eaux Usees | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 23 € | 2 967,84 € | | |
| Arrivée generale Eau Potable + brachement compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 315 € | 1 315,00 € | | |
| Robinetterie | | 10 | 1 | 1 | u | 10 | 1 050 € | ########## | | |
| Sanitaires-WC | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 190 € | 570,18 € | | |
| Douche/baignoire | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 416 € | 1 246,69 € | | |
| Lavabo | | 4 | 1 | 1 | u | 4 | 426 € | 1 702,05 € | | |
| Evier cuisine | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 163 € | 163,48 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 23 872,74 € | |
| | **TOTAL LOT 4** | | | | | | | | | 23 872,74 € |

## LOT 5 - CONFORT THERMIQUE ET QUALITE DE L'AIR

### 5.1 CVC

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Climatisation : chiller + splits muraux ( 1 ensemble par etage | | 2 | 1 | 1 | u | 2 | 6 196 € | ########## | | |
| Chauffe-eau thermodynamique - Gaz | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 2 785 € | 2 785,14 € | | |
| VMC Simple flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 660 € | 659,79 € | | |
| VMC double flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| VMC distribution des gaines | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 15 836,93 € | |
| | **TOTAL LOT 5** | | | | | | | | | 15 836,93 € |

## LOT 6 - ELECTRICITE

### 6.1 ELECTRICITE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Branchements reseaux generale + compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 10 667 € | ########## | | |
| Appareillage : prises, rg45,.. | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 113 € | 2 260,00 € | | |
| Eclairage | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 103 € | 2 066,67 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 993,33 € | |
| | **TOTAL LOT 6** | | | | | | | | | 14 993,33 € |

## LOT 7 - ELECTROMENAGERS ET ACCESOIRES

### 7.1 ELECTROMENAGERS

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frigo | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 950 € | 950,00 € | | |
| Lavevaisselle | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 650 € | 650,00 € | | |
| Lavelinge | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Microondes | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 250 € | 250,00 € | | |
| Television | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Feux electriques | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 320 € | 320,00 € | | |
| Four | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 100 € | 1 100,00 € | | |
| Ordinateurs | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 3 000 € | 3 000,00 € | | |
| AUTRE : - | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 7 970,00 € | |
| | **TOTAL LOT 7** | | | | | | | | | 7 970,00 € |

| | | |
|---|---|---|
| Hauteur entre planchers | 3,15 | m |
| Longueur exterieure | 12,5 | m |
| Largeur exterieure | 10,5 | m |
| Epaisseur structure | 0,2 | m |
| Epaisseur Planchers portés | 0,25 | m |
| Epaisseur Dalle sur Terre pleine | 0,15 | m |
| Epaisseur isolant murs | 0,1 | m |
| Epaisseur isolant toiture | 0,2 | m |
| Epaisseur isolant sol PbRdC | 0,1 | m |
| Lineaire de cloisons interieurs | 75 | m |
| Surface des murs RdC | 144,9 | m² |
| Surface des murs R+1 | 144,9 | m² |
| dim. petites fenetres 1,8 | 1,5 | m |
| dim. grandes fenetres 1,8 | 2,5 | m |
| Surfaces petites | 2,7 | m² |
| Surfaces grandes | 4,5 | m² |
| Surface des fenetres NORD | 19,8 | m² |
| Surface des fenetres SUD | 15,3 | m² |
| Surface des fenetres EST | 25,2 | m² |
| Surface des fenetres OUEST | 25,2 | m² |
| **Taux d'ouverture TOTAL** | **30%** | |
| Taux d'ouverture NORD | 30% | |
| Taux d'ouverture SUD | 23% | |
| Taux d'ouverture EST | 32% | |
| Taux d'ouverture OUEST | 32% | |
| Nombre de fenetres | 27 | u |

| | |
|---|---|
| **TOTAL PROJET** | **288800,2 €H** |
| **TOTAL m2** | **223,12 m** |
| **RATIO €/m2** | **1294 €/** |
| **variation s/ Base:** | **4152,4 €I** |

**MODELE : VARIANTE SIMPLE VITRAGE**

| CODE | LIBELLÉ | DIM 1 | DIM2 | DIM3 | U | Q | PU | TOTAL HT | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **LOT 1 - ENVELOPPE EXTERIEUR** | | | | | | | | | |
| **1.1** | **MAÇONNERIE-FONDATIONS** | | | | | | | | |
| | Plateforme et terrassement | 12,5 | 10,5 | 1 | m² | 131 | 34 € | 4 459,88 € | |
| | Semelles filantes en béton armé | 46 | 0,5 | 0,4 | m³ | 9 | 378 € | 3 476,07 € | |
| | Murs du sous-bassement bloc beton | 46 | 0,5 | 1 | m² | 23 | 57 € | 1 304,05 € | |
| | Drain peripherique | 12,5 | 10,5 | 2 | ml | 46 | 43 € | 1 960,21 € | |
| | VRD Eaux vannes | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 863 € | 1 863,47 € | |
| | VRD Eaux usées | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 803 € | 802,95 € | |
| | VRD Eaux Pluviales | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 953 € | 952,70 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 819,33 € |
| **1.2** | **MAÇONNERIE-PLANCHER BAS DU RDC** | | | | | | | | |
| | Sable pour couche de forme | 12,5 | 10,5 | 0,2 | m³ | 26 | 16 € | 415,28 € | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 12,5 | 10,5 | 0 | m³ | 0 | 316 € | 0,00 € | |
| | Dalle béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,15 | m³ | 20 | 79 € | 1 552,06 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 13 239,13 € |
| **1.3** | **MAÇONNERIE-PLANCHER HAUT DU RDC** | | | | | | | | |
| | Peinture | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 14 € | 1 628,53 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 34 € | 3 968,55 € | |
| | Dalle portée béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m³ | 33 | 79 € | 2 586,77 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 19 455,64 € |
| **1.4** | **MURS EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture interieure | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 14 € | 2 313,75 € | |
| | Platre enduite sur bloc beton | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 26 € | 4 301,67 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,10 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 54 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 6,3 | 44,4 | 0,1 | m³ | 19 | 316 € | 6 144,66 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,20 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 57 € | ########## | |
| | Rupteur Pont Thermique XPS ép.100mm R=2,86 | 0 | 44,4 | 2 | ml | 0 | 100 € | 0,00 € | |
| | Pare-vapeur ( en climat chaud ext isolation ) | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 24 € | 4 705,95 € | |
| | Enduit exterieur etanche | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 30 € | 5 836,31 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 44 712,37 € |
| **1.5** | **TOITURE** | | | | | | | | |
| | Peinture plafond | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 40 € | 9 424,80 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 26 € | 6 151,53 € | |
| | Plancher porté en béton ep:20cm | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m² | 33 | 378 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.200mm R=5,7 | 11,9 | 9,9 | 0,2 | m³ | 24 | 316 € | 7 454,45 € | |
| | Étanchéité toiture bitumineuse | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 38 € | 4 485,03 € | |
| | Chape de protection de l'etancheité | 11,9 | 9,9 | 0,1 | m³ | 12 | 53 € | 619,92 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 40 533,39 € |
| **1.6** | **CLOISONS INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 14 € | 3 006,58 € | |
| | Enduit - deux faces | 75 | 2,9 | 2 | m² | 435 | 24 € | ########## | |
| | Mur brique terre cuite alveolaire 0,10 x 0,20 x 0,50 | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 66 € | ########## | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 27 824,05 € |
| | **TOTAL LOT 1** | | | | | | | | 160 583,90 € |
| **LOT 2 - OUVERTURES** | | | | | | | | | |
| **2.1** | **MENUISERIE EXTERIEURE** | | | | | | | | |
| | Fenêtre 2 fermeture a la francaise - simple vitrage Ug=5,8W | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 461 € | ########## | |
| | Porte d'entrée U=1 W/Km2 | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 604 € | 1 603,53 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 41 044,87 € |
| **2.2** | **BRISE-SOLEIL EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Brise-soleil sur fenetres | 85,5 | 0 | 1 | m2 | 0 | 318 € | 0,00 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 0,00 € |
| **2.3** | **RIDEAUX INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Rideau interieur opaque derriere fenetres | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 104 € | 8 863,11 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 8 863,11 € |
| | **TOTAL LOT 2** | | | | | | | | 49 907,98 € |

## LOT3 - AGENCEMENT INTERIEUR

### 3.1 MENUISERIE INTERIEURE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| portes interieures | | 9 | 1 | 1 | u | 9 | 162 € | 1 455,60 € | | |
| placards | | 6 | 1 | 1 | u | 6 | 500 € | 3 000,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 4 455,60 € | |
| | **TOTAL LOT 3** | | | | | | | | | 4 455,60 € |

## LOT 4 - PLOMBERIE ET EAU

### 4.1 PLOMBERIE SANITAIRE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distribution eau potable en cuivre | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 41 € | 5 407,50 € | | |
| Distribution evacuation Eaux Vannes-Eaux Usees | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 23 € | 2 967,84 € | | |
| Arrivée generale Eau Potable + brachement compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 315 € | 1 315,00 € | | |
| Robinetterie | | 10 | 1 | 1 | u | 10 | 1 050 € | ########## | | |
| Sanitaires-WC | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 190 € | 570,18 € | | |
| Douche/baignoire | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 416 € | 1 246,69 € | | |
| Lavabo | | 4 | 1 | 1 | u | 4 | 426 € | 1 702,05 € | | |
| Evier cuisine | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 163 € | 163,48 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 23 872,74 € | |
| | **TOTAL LOT 4** | | | | | | | | | 23 872,74 € |

## LOT 5 - CONFORT THERMIQUE ET QUALITE DE L'AIR

### 5.1 CVC

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Climatisation : chiller + splits muraux ( 1 ensemble par etage | | 2 | 1 | 1 | u | 2 | 6 196 € | ########## | | |
| Chauffe-eau thermodynamique - Gaz | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 2 785 € | 2 785,14 € | | |
| VMC Simple flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 660 € | 659,79 € | | |
| VMC double flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| VMC distribution des gaines | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 15 836,93 € | |
| | **TOTAL LOT 5** | | | | | | | | | 15 836,93 € |

## LOT 6 - ELECTRICITE

### 6.1 ELECTRICITE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Branchements reseaux generale + compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 10 667 € | ########## | | |
| Appareillage : prises, rg45,.. | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 113 € | 2 260,00 € | | |
| Eclairage | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 103 € | 2 066,67 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 993,33 € | |
| | **TOTAL LOT 6** | | | | | | | | | 14 993,33 € |

## LOT 7 - ELECTROMENAGERS ET ACCESOIRES

### 7.1 ELECTROMENAGERS

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frigo | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 950 € | 950,00 € | | |
| Lavevaisselle | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 650 € | 650,00 € | | |
| Lavelinge | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Microondes | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 250 € | 250,00 € | | |
| Television | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Feux electriques | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 320 € | 320,00 € | | |
| Four | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 100 € | 1 100,00 € | | |
| Ordinateurs | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 3 000 € | 3 000,00 € | | |
| AUTRE : - | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 7 970,00 € | |
| | **TOTAL LOT 7** | | | | | | | | | 7 970,00 € |

| | | |
|---|---|---|
| Hauteur entre planchers | 3,15 | m |
| Longueur exterieure | 12,5 | m |
| Largeur exterieure | 10,5 | m |
| Epaisseur structure | 0,2 | m |
| Epaisseur Planchers portés | 0,25 | m |
| Epaisseur Dalle sur Terre pleine | 0,15 | m |
| Epaisseur isolant murs | 0,1 | m |
| Epaisseur isolant toiture | 0,2 | m |
| Epaisseur isolant sol PbRdC | 0 | m |
| Lineaire de cloisons interieurs | 75 | m |
| Surface des murs RdC | 144,9 | m² |
| Surface des murs R+1 | 144,9 | m² |
| dim. petites fenetres 1,8 | 1,5 | m |
| dim. grandes fenetres 1,8 | 2,5 | m |
| Surfaces petites | 2,7 | m² |
| Surfaces grandes | 4,5 | m² |
| Surface des fenetres NORD | 19,8 | m² |
| Surface des fenetres SUD | 15,3 | m² |
| Surface des fenetres EST | 25,2 | m² |
| Surface des fenetres OUEST | 25,2 | m² |
| **Taux d'ouverture TOTAL** | **30%** | |
| Taux d'ouverture NORD | 30% | |
| Taux d'ouverture SUD | 23% | |
| Taux d'ouverture EST | 32% | |
| Taux d'ouverture OUEST | 32% | |
| Nombre de fenetres | 27 | u |

| | |
|---|---|
| **TOTAL PROJET** | **277620,5 €H** |
| **TOTAL m2** | **223,12 m** |
| **RATIO €/m2** | **1244 €/** |
| **variation s/ Base:** | **-7027 €I** |

**MODELE : VARIANTE DOUBLE VITRAGE OBSCURE G=0,15 TL=0,2**

| CODE | LIBELLÉ | DIM 1 | DIM2 | DIM3 | U | Q | PU | TOTAL HT | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **LOT 1 - ENVELOPPE EXTERIEUR** | | | | | | | | | |
| **1.1** | **MAÇONNERIE-FONDATIONS** | | | | | | | | |
| | Plateforme et terrassement | 12,5 | 10,5 | 1 | m² | 131 | 34 € | 4 459,88 € | |
| | Semelles filantes en béton armé | 46 | 0,5 | 0,4 | m³ | 9 | 378 € | 3 476,07 € | |
| | Murs du sous-bassement bloc beton | 46 | 0,5 | 1 | m² | 23 | 57 € | 1 304,05 € | |
| | Drain peripherique | 12,5 | 10,5 | 2 | ml | 46 | 43 € | 1 960,21 € | |
| | VRD Eaux vannes | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 863 € | 1 863,47 € | |
| | VRD Eaux usées | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 803 € | 802,95 € | |
| | VRD Eaux Pluviales | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 953 € | 952,70 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 819,33 € |
| **1.2** | **MAÇONNERIE-PLANCHER BAS DU RDC** | | | | | | | | |
| | Sable pour couche de forme | 12,5 | 10,5 | 0,2 | m³ | 26 | 16 € | 415,28 € | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 12,5 | 10,5 | 0 | m³ | 0 | 316 € | 0,00 € | |
| | Dalle béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,15 | m³ | 20 | 79 € | 1 552,06 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 13 239,13 € |
| **1.3** | **MAÇONNERIE-PLANCHER HAUT DU RDC** | | | | | | | | |
| | Peinture | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 14 € | 1 628,53 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 34 € | 3 968,55 € | |
| | Dalle portée béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m³ | 33 | 79 € | 2 586,77 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 19 455,64 € |
| **1.4** | **MURS EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture interieure | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 14 € | 2 313,75 € | |
| | Platre enduite sur bloc beton | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 26 € | 4 301,67 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,10 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 54 € | 10 398,15 € | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 6,3 | 44,4 | 0,1 | m³ | 19 | 316 € | 6 144,66 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,20 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 57 € | 11 011,89 € | |
| | Rupteur Pont Thermique XPS ép.100mm R=2,86 | 0 | 44,4 | 2 | ml | 0 | 100 € | 0,00 € | |
| | Pare-vapeur ( en climat chaud ext isolation ) | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 24 € | 4 705,95 € | |
| | Enduit exterieur etanche | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 30 € | 5 836,31 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 44 712,37 € |
| **1.5** | **TOITURE** | | | | | | | | |
| | Peinture plafond | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 40 € | 9 424,80 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 26 € | 6 151,53 € | |
| | Plancher porté en béton ep:20cm | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m² | 33 | 378 € | 12 397,66 € | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.200mm R=5,7 | 11,9 | 9,9 | 0,2 | m³ | 24 | 316 € | 7 454,45 € | |
| | Étanchéité toiture bitumineuse | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 38 € | 4 485,03 € | |
| | Chape de protection de l'etancheité | 11,9 | 9,9 | 0,1 | m³ | 12 | 53 € | 619,92 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 40 533,39 € |
| **1.6** | **CLOISONS INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 14 € | 3 006,58 € | |
| | Enduit - deux faces | 75 | 2,9 | 2 | m² | 435 | 24 € | 10 558,18 € | |
| | Mur brique terre cuite alveolaire 0,10 x 0,20 x 0,50 | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 66 € | 14 259,30 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 27 824,05 € |
| | **TOTAL LOT 1** | | | | | | | | 160 583,90 € |
| **LOT 2 - OUVERTURES** | | | | | | | | | |
| **2.1** | **MENUISERIE EXTERIEURE** | | | | | | | | |
| | Fenêtre - double vitrage G=0,24 verre obscure | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 796 € | 68 091,54 € | |
| | Porte d'entrée U=1 W/Km2 | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 604 € | 1 603,53 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 69 695,07 € |
| **2.2** | **BRISE-SOLEIL EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Brise-soleil sur fenetres | 85,5 | 0 | 1 | m2 | 0 | 318 € | 0,00 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 0,00 € |
| **2.3** | **RIDEAUX INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Rideau interieur opaque derriere fenetres | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 104 € | 8 863,11 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 8 863,11 € |
| | **TOTAL LOT 2** | | | | | | | | 78 558,18 € |

## LOT3 - AGENCEMENT INTERIEUR

### 3.1 MENUISERIE INTERIEURE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| portes interieures | | 9 | 1 | 1 | u | 9 | 162 € | 1 455,60 € | | |
| placards | | 6 | 1 | 1 | u | 6 | 500 € | 3 000,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 4 455,60 € | |
| | **TOTAL LOT 3** | | | | | | | | | 4 455,60 € |

## LOT 4 - PLOMBERIE ET EAU

### 4.1 PLOMBERIE SANITAIRE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distribution eau potable en cuivre | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 41 € | 5 407,50 € | | |
| Distribution evacuation Eaux Vannes-Eaux Usees | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 23 € | 2 967,84 € | | |
| Arrivée generale Eau Potable + brachement compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 315 € | 1 315,00 € | | |
| Robinetterie | | 10 | 1 | 1 | u | 10 | 1 050 € | 10 500,00 € | | |
| Sanitaires-WC | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 190 € | 570,18 € | | |
| Douche/baignoire | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 416 € | 1 246,69 € | | |
| Lavabo | | 4 | 1 | 1 | u | 4 | 426 € | 1 702,05 € | | |
| Evier cuisine | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 163 € | 163,48 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 23 872,74 € | |
| | **TOTAL LOT 4** | | | | | | | | | 23 872,74 € |

## LOT 5 - CONFORT THERMIQUE ET QUALITE DE L'AIR

### 5.1 CVC

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Climatisation : chiller + splits muraux ( 1 ensemble par etage | | 2 | 1 | 1 | u | 2 | 6 196 € | 12 392,00 € | | |
| Chauffe-eau thermodynamique - Gaz | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 2 785 € | 2 785,14 € | | |
| VMC Simple flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 660 € | 659,79 € | | |
| VMC double flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| VMC distribution des gaines | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 15 836,93 € | |
| | **TOTAL LOT 5** | | | | | | | | | 15 836,93 € |

## LOT 6 - ELECTRICITE

### 6.1 ELECTRICITE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Branchements reseaux generale + compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 10 667 € | 10 666,67 € | | |
| Appareillage : prises, rg45,.. | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 113 € | 2 260,00 € | | |
| Eclairage | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 103 € | 2 066,67 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 993,33 € | |
| | **TOTAL LOT 6** | | | | | | | | | 14 993,33 € |

## LOT 7 - ELECTROMENAGERS ET ACCESOIRES

### 7.1 ELECTROMENAGERS

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frigo | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 950 € | 950,00 € | | |
| Lavevaisselle | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 650 € | 650,00 € | | |
| Lavelinge | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Microondes | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 250 € | 250,00 € | | |
| Television | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Feux electriques | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 320 € | 320,00 € | | |
| Four | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 100 € | 1 100,00 € | | |
| Ordinateurs | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 3 000 € | 3 000,00 € | | |
| AUTRE : - | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 7 970,00 € | |
| | **TOTAL LOT 7** | | | | | | | | | 7 970,00 € |

| | | |
|---|---|---|
| Hauteur entre planchers | 3,15 | m |
| Longueur exterieure | 12,5 | m |
| Largeur exterieure | 10,5 | m |
| Epaisseur structure | 0,2 | m |
| Epaisseur Planchers portés | 0,25 | m |
| Epaisseur Dalle sur Terre pleine | 0,15 | m |
| Epaisseur isolant murs | 0,1 | m |
| Epaisseur isolant toiture | 0,2 | m |
| Epaisseur isolant sol PbRdC | 0 | m |
| Lineaire de cloisons interieurs | 75 | m |
| Surface des murs RdC | 144,9 | m² |
| Surface des murs R+1 | 144,9 | m² |
| dim. petites fenetres 1,8 | 1,5 | m |
| dim. grandes fenetres 1,8 | 2,5 | m |
| Surfaces petites | 2,7 | m² |
| Surfaces grandes | 4,5 | m² |
| Surface des fenetres NORD | 19,8 | m² |
| Surface des fenetres SUD | 15,3 | m² |
| Surface des fenetres EST | 25,2 | m² |
| Surface des fenetres OUEST | 25,2 | m² |
| **Taux d'ouverture TOTAL** | **30%** | |
| Taux d'ouverture NORD | 30% | |
| Taux d'ouverture SUD | 23% | |
| Taux d'ouverture EST | 32% | |
| Taux d'ouverture OUEST | 32% | |
| Nombre de fenetres | 27 | u |

| | |
|---|---|
| **TOTAL PROJET** | **306270,7 €** |
| **TOTAL m2** | **223,12 m** |
| **RATIO €/m2** | **1373 €** |
| **variation s/ Base:** | **21623 €** |

**MODELE : VARIANTE TRIPLE VITRAGE**

| CODE | LIBELLÉ | DIM 1 | DIM2 | DIM3 | U | Q | PU | TOTAL HT | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **LOT 1 - ENVELOPPE EXTERIEUR** | | | | | | | | | |
| **1.1** | **MAÇONNERIE-FONDATIONS** | | | | | | | | |
| | Plateforme et terrassement | 12,5 | 10,5 | 1 | m² | 131 | 34 € | 4 459,88 € | |
| | Semelles filantes en béton armé | 46 | 0,5 | 0,4 | $m^3$ | 9 | 378 € | 3 476,07 € | |
| | Murs du sous-bassement bloc beton | 46 | 0,5 | 1 | m² | 23 | 57 € | 1 304,05 € | |
| | Drain peripherique | 12,5 | 10,5 | 2 | ml | 46 | 43 € | 1 960,21 € | |
| | VRD Eaux vannes | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 863 € | 1 863,47 € | |
| | VRD Eaux usées | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 803 € | 802,95 € | |
| | VRD Eaux Pluviales | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 953 € | 952,70 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 819,33 € |
| **1.2** | **MAÇONNERIE-PLANCHER BAS DU RDC** | | | | | | | | |
| | Sable pour couche de forme | 12,5 | 10,5 | 0,2 | $m^3$ | 26 | 16 € | 415,28 € | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 12,5 | 10,5 | 0 | $m^3$ | 0 | 316 € | 0,00 € | |
| | Dalle béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,15 | $m^3$ | 20 | 79 € | 1 552,06 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 13 239,13 € |
| **1.3** | **MAÇONNERIE-PLANCHER HAUT DU RDC** | | | | | | | | |
| | Peinture | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 14 € | 1 628,53 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 34 € | 3 968,55 € | |
| | Dalle portée béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,25 | $m^3$ | 33 | 79 € | 2 586,77 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 19 455,64 € |
| **1.4** | **MURS EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture interieure | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 14 € | 2 313,75 € | |
| | Platre enduite sur bloc beton | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 26 € | 4 301,67 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,10 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 54 € | 10 398,15 € | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 6,3 | 44,4 | 0,1 | $m^3$ | 19 | 316 € | 6 144,66 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,20 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 57 € | 11 011,89 € | |
| | Rupteur Pont Thermique XPS ép.100mm R=2,86 | 0 | 44,4 | 2 | ml | 0 | 100 € | 0,00 € | |
| | Pare-vapeur ( en climat chaud ext isolation ) | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 24 € | 4 705,95 € | |
| | Enduit exterieur etanche | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 30 € | 5 836,31 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 44 712,37 € |
| **1.5** | **TOITURE** | | | | | | | | |
| | Peinture plafond | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 40 € | 9 424,80 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 26 € | 6 151,53 € | |
| | Plancher porté en béton ep:20cm | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m² | 33 | 378 € | 12 397,66 € | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.200mm R=5,7 | 11,9 | 9,9 | 0,2 | $m^3$ | 24 | 316 € | 7 454,45 € | |
| | Étanchéité toiture bitumineuse | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 38 € | 4 485,03 € | |
| | Chape de protection de l'etancheité | 11,9 | 9,9 | 0,1 | $m^3$ | 12 | 53 € | 619,92 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 40 533,39 € |
| **1.6** | **CLOISONS INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 14 € | 3 006,58 € | |
| | Enduit - deux faces | 75 | 2,9 | 2 | m² | 435 | 24 € | 10 558,18 € | |
| | Mur brique terre cuite alveolaire 0,10 x 0,20 x 0,50 | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 66 € | 14 259,30 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 27 824,05 € |
| | **TOTAL LOT 1** | | | | | | | | 160 583,90 € |
| **LOT 2 - OUVERTURES** | | | | | | | | | |
| **2.1** | **MENUISERIE EXTERIEURE** | | | | | | | | |
| | Fenêtre 2 fermeture a la francaise - Triple vitrage Ug=0,9W/ | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 635 € | 54 304,66 € | |
| | Porte d'entrée U=1 W/Km2 | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 604 € | 1 603,53 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 55 908,19 € |
| **2.2** | **BRISE-SOLEIL EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Brise-soleil sur fenetres | 85,5 | 0 | 1 | m2 | 0 | 318 € | 0,00 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 0,00 € |
| **2.3** | **RIDEAUX INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Rideau interieur opaque derriere fenetres | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 104 € | 8 863,11 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 8 863,11 € |
| | **TOTAL LOT 2** | | | | | | | | 64 771,30 € |

## LOT3 - AGENCEMENT INTERIEUR

### 3.1 MENUISERIE INTERIEURE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| portes interieures | | 9 | 1 | 1 | u | 9 | 162 € | 1 455,60 € | | |
| placards | | 6 | 1 | 1 | u | 6 | 500 € | 3 000,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 4 455,60 € | |
| | **TOTAL LOT 3** | | | | | | | | | 4 455,60 € |

## LOT 4 - PLOMBERIE ET EAU

### 4.1 PLOMBERIE SANITAIRE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distribution eau potable en cuivre | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 41 € | 5 407,50 € | | |
| Distribution evacuation Eaux Vannes-Eaux Usees | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 23 € | 2 967,84 € | | |
| Arrivée generale Eau Potable + brachement compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 315 € | 1 315,00 € | | |
| Robinetterie | | 10 | 1 | 1 | u | 10 | 1 050 € | 10 500,00 € | | |
| Sanitaires-WC | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 190 € | 570,18 € | | |
| Douche/baignoire | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 416 € | 1 246,69 € | | |
| Lavabo | | 4 | 1 | 1 | u | 4 | 426 € | 1 702,05 € | | |
| Evier cuisine | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 163 € | 163,48 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 23 872,74 € | |
| | **TOTAL LOT 4** | | | | | | | | | 23 872,74 € |

## LOT 5 - CONFORT THERMIQUE ET QUALITE DE L'AIR

### 5.1 CVC

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Climatisation : chiller + splits muraux ( 1 ensemble par etage | | 2 | 1 | 1 | u | 2 | 6 196 € | 12 392,00 € | | |
| Chauffe-eau thermodynamique - Gaz | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 2 785 € | 2 785,14 € | | |
| VMC Simple flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 660 € | 659,79 € | | |
| VMC double flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| VMC distribution des gaines | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 15 836,93 € | |
| | **TOTAL LOT 5** | | | | | | | | | 15 836,93 € |

## LOT 6 - ELECTRICITE

### 6.1 ELECTRICITE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Branchements reseaux generale + compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 10 667 € | 10 666,67 € | | |
| Appareillage : prises, rg45,.. | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 113 € | 2 260,00 € | | |
| Eclairage | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 103 € | 2 066,67 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 993,33 € | |
| | **TOTAL LOT 6** | | | | | | | | | 14 993,33 € |

## LOT 7 - ELECTROMENAGERS ET ACCESOIRES

### 7.1 ELECTROMENAGERS

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frigo | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 950 € | 950,00 € | | |
| Lavevaisselle | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 650 € | 650,00 € | | |
| Lavelinge | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Microondes | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 250 € | 250,00 € | | |
| Television | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Feux electriques | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 320 € | 320,00 € | | |
| Four | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 100 € | 1 100,00 € | | |
| Ordinateurs | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 3 000 € | 3 000,00 € | | |
| AUTRE : - | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 7 970,00 € | |
| | **TOTAL LOT 7** | | | | | | | | | 7 970,00 € |

| | | |
|---|---|---|
| Hauteur entre planchers | 3,15 | m |
| Longueur exterieure | 12,5 | m |
| Largeur exterieure | 10,5 | m |
| Epaisseur structure | 0,2 | m |
| Epaisseur Planchers portés | 0,25 | m |
| Epaisseur Dalle sur Terre pleine | 0,15 | m |
| Epaisseur isolant murs | 0,1 | m |
| Epaisseur isolant toiture | 0,2 | m |
| Epaisseur isolant sol PbRdC | 0 | m |
| Lineaire de cloisons interieurs | 75 | m |
| Surface des murs RdC | 144,9 | m² |
| Surface des murs R+1 | 144,9 | m² |
| dim. petites fenetres 1,8 | 1,5 | m |
| dim. grandes fenetres 1,8 | 2,5 | m |
| Surfaces petites | 2,7 | m² |
| Surfaces grandes | 4,5 | m² |
| Surface des fenetres NORD | 19,8 | m² |
| Surface des fenetres SUD | 15,3 | m² |
| Surface des fenetres EST | 25,2 | m² |
| Surface des fenetres OUEST | 25,2 | m² |
| **Taux d'ouverture TOTAL** | **30%** | |
| Taux d'ouverture NORD | 30% | |
| Taux d'ouverture SUD | 23% | |
| Taux d'ouverture EST | 32% | |
| Taux d'ouverture OUEST | 32% | |
| Nombre de fenetres | 27 | u |

| | |
|---|---|
| **TOTAL PROJET** | **292483,8 €** |
| **TOTAL m2** | **223,12 m** |
| **RATIO €/m2** | **1311 €** |
| **variation s/ Base:** | **7836,1 €** |

**MODELE : ETANCHEITÉ A L'AIR 2v/h a N50**

| CODE | LIBELLÉ | DIM 1 | DIM2 | DIM3 | U | Q | PU | TOTAL HT | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LOT 1 - ENVELOPPE EXTERIEUR | | | | | | | | | |
| 1.1 | **MAÇONNERIE-FONDATIONS** | | | | | | | | |
| | Plateforme et terrassement | 12,5 | 10,5 | 1 | m² | 131 | 34 € | 4 459,88 € | |
| | Semelles filantes en béton armé | 46 | 0,5 | 0,4 | m³ | 9 | 378 € | 3 476,07 € | |
| | Murs du sous-bassement bloc beton | 46 | 0,5 | 1 | m² | 23 | 57 € | 1 304,05 € | |
| | Drain peripherique | 12,5 | 10,5 | 2 | ml | 46 | 43 € | 1 960,21 € | |
| | VRD Eaux vannes | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 863 € | 1 863,47 € | |
| | VRD Eaux usées | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 803 € | 802,95 € | |
| | VRD Eaux Pluviales | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 953 € | 952,70 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 819,33 € |
| 1.2 | **MAÇONNERIE-PLANCHER BAS DU RDC** | | | | | | | | |
| | Sable pour couche de forme | 12,5 | 10,5 | 0,2 | m³ | 26 | 16 € | 415,28 € | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 12,5 | 10,5 | 0 | m³ | 0 | 316 € | 0,00 € | |
| | Dalle béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,15 | m³ | 20 | 79 € | 1 552,06 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 13 239,13 € |
| 1.3 | **MAÇONNERIE-PLANCHER HAUT DU RDC** | | | | | | | | |
| | Peinture | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 14 € | 1 628,53 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 34 € | 3 968,55 € | |
| | Dalle portée béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m³ | 33 | 79 € | 2 586,77 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 19 455,64 € |
| 1.4 | **MURS EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture interieure | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 14 € | 2 313,75 € | |
| | Platre enduite sur bloc beton | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 26 € | 4 301,67 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,10 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 54 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 6,3 | 44,4 | 0,1 | m³ | 19 | 316 € | 6 144,66 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,20 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 57 € | ########## | |
| | Rupteur Pont Thermique XPS ép.100mm R=2,86 | 0 | 44,4 | 2 | ml | 0 | 100 € | 0,00 € | |
| | Pare-vapeur ( en climat chaud ext isolation ) pose soigneuse | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 31 € | 6 117,74 € | |
| | Enduit exterieur etanche | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 30 € | 5 836,31 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 46 124,15 € |
| 1.5 | **TOITURE** | | | | | | | | |
| | Peinture plafond | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 40 € | 9 424,80 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 26 € | 6 151,53 € | |
| | Plancher porté en béton ep:20cm | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m² | 33 | 378 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.200mm R=5,7 | 11,9 | 9,9 | 0,2 | m³ | 24 | 316 € | 7 454,45 € | |
| | Étanchéité toiture bitumineuse | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 38 € | 4 485,03 € | |
| | Chape de protection de l'etancheité | 11,9 | 9,9 | 0,1 | m³ | 12 | 53 € | 619,92 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 40 533,39 € |
| 1.6 | **CLOISONS INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 14 € | 3 006,58 € | |
| | Enduit - deux faces | 75 | 2,9 | 2 | m² | 435 | 24 € | ########## | |
| | Mur brique terre cuite alveolaire 0,10 x 0,20 x 0,50 | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 66 € | ########## | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 27 824,05 € |
| | **TOTAL LOT 1** | | | | | | | | 161 995,68 € |
| LOT 2 - OUVERTURES | | | | | | | | | |
| 2.1 | **MENUISERIE EXTERIEURE** | | | | | | | | |
| | Fenêtre 2 fermeture a la francaise - double vitrage Ug=2,5W | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 543 € | ########## | |
| | Porte d'entrée U=1 W/Km2 | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 604 € | 1 603,53 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 48 072,12 € |
| 2.2 | **BRISE-SOLEIL EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Brise-soleil sur fenetres | 85,5 | 0 | 1 | m2 | 0 | 318 € | 0,00 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 0,00 € |
| 2.3 | **RIDEAUX INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Rideau interieur opaque derriere fenetres | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 104 € | 8 863,11 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 8 863,11 € |
| | **TOTAL LOT 2** | | | | | | | | 56 935,23 € |

## LOT3 - AGENCEMENT INTERIEUR

### 3.1 MENUISERIE INTERIEURE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| portes interieures | | 9 | 1 | 1 | u | 9 | 162 € | 1 455,60 € | | |
| placards | | 6 | 1 | 1 | u | 6 | 500 € | 3 000,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 4 455,60 € | |
| | **TOTAL LOT 3** | | | | | | | | | 4 455,60 € |

## LOT 4 - PLOMBERIE ET EAU

### 4.1 PLOMBERIE SANITAIRE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distribution eau potable en cuivre | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 41 € | 5 407,50 € | | |
| Distribution evacuation Eaux Vannes-Eaux Usees | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 23 € | 2 967,84 € | | |
| Arrivée generale Eau Potable + brachement compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 315 € | 1 315,00 € | | |
| Robinetterie | | 10 | 1 | 1 | u | 10 | 1 050 € | ########## | | |
| Sanitaires-WC | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 190 € | 570,18 € | | |
| Douche/baignoire | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 416 € | 1 246,69 € | | |
| Lavabo | | 4 | 1 | 1 | u | 4 | 426 € | 1 702,05 € | | |
| Evier cuisine | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 163 € | 163,48 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 23 872,74 € | |
| | **TOTAL LOT 4** | | | | | | | | | 23 872,74 € |

## LOT 5 - CONFORT THERMIQUE ET QUALITE DE L'AIR

### 5.1 CVC

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Climatisation : chiller + splits muraux ( 1 ensemble par etage | | 2 | 1 | 1 | u | 2 | 6 196 € | ########## | | |
| Chauffe-eau thermodynamique - Gaz | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 2 785 € | 2 785,14 € | | |
| VMC Simple flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 660 € | 659,79 € | | |
| VMC double flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| VMC distribution des gaines | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 15 836,93 € | |
| | **TOTAL LOT 5** | | | | | | | | | 15 836,93 € |

## LOT 6 - ELECTRICITE

### 6.1 ELECTRICITE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Branchements reseaux generale + compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 10 667 € | ########## | | |
| Appareillage : prises, rg45,.. | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 113 € | 2 260,00 € | | |
| Eclairage | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 103 € | 2 066,67 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 993,33 € | |
| | **TOTAL LOT 6** | | | | | | | | | 14 993,33 € |

## LOT 7 - ELECTROMENAGERS ET ACCESOIRES

### 7.1 ELECTROMENAGERS

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frigo | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 950 € | 950,00 € | | |
| Lavevaisselle | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 650 € | 650,00 € | | |
| Lavelinge | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Microondes | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 250 € | 250,00 € | | |
| Television | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Feux electriques | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 320 € | 320,00 € | | |
| Four | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 100 € | 1 100,00 € | | |
| Ordinateurs | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 3 000 € | 3 000,00 € | | |
| AUTRE : - | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 7 970,00 € | |
| | **TOTAL LOT 7** | | | | | | | | | 7 970,00 € |

| | | |
|---|---|---|
| Hauteur entre planchers | 3,15 | m |
| Longueur exterieure | 12,5 | m |
| Largeur exterieure | 10,5 | m |
| Epaisseur structure | 0,2 | m |
| Epaisseur Planchers portés | 0,25 | m |
| Epaisseur Dalle sur Terre pleine | 0,15 | m |
| Epaisseur isolant murs | 0,1 | m |
| Epaisseur isolant toiture | 0,2 | m |
| Epaisseur isolant sol PbRdC | 0 | m |
| Lineaire de cloisons interieurs | 75 | m |
| Surface des murs RdC | 144,9 | m² |
| Surface des murs R+1 | 144,9 | m² |
| dim. petites fenetres 1,8 | 1,5 | m |
| dim. grandes fenetres 1,8 | 2,5 | m |
| Surfaces petites | 2,7 | m² |
| Surfaces grandes | 4,5 | m² |
| Surface des fenetres NORD | 19,8 | m² |
| Surface des fenetres SUD | 15,3 | m² |
| Surface des fenetres EST | 25,2 | m² |
| Surface des fenetres OUEST | 25,2 | m² |
| **Taux d'ouverture TOTAL** | **30%** | |
| Taux d'ouverture NORD | 30% | |
| Taux d'ouverture SUD | 23% | |
| Taux d'ouverture EST | 32% | |
| Taux d'ouverture OUEST | 32% | |
| Nombre de fenetres | 27 | u |

| | |
|---|---|
| **TOTAL PROJET** | **286059,5 €H** |
| **TOTAL m2** | **223,12 m** |
| **RATIO €/m2** | **1282 €/** |
| **variation s/ Base:** | **1411,8 €I** |

**MODELE : ETANCHEITÉ A L'AIR 0,6v/h a N50**

| CODE | LIBELLÉ | DIM 1 | DIM2 | DIM3 | U | Q | PU | TOTAL HT | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LOT 1 - ENVELOPPE EXTERIEUR | | | | | | | | | |
| 1.1 | **MAÇONNERIE-FONDATIONS** | | | | | | | | |
| | Plateforme et terrassement | 12,5 | 10,5 | 1 | m² | 131 | 34 € | 4 459,88 € | |
| | Semelles filantes en béton armé | 46 | 0,5 | 0,4 | m³ | 9 | 378 € | 3 476,07 € | |
| | Murs du sous-bassement bloc beton | 46 | 0,5 | 1 | m² | 23 | 57 € | 1 304,05 € | |
| | Drain peripherique | 12,5 | 10,5 | 2 | ml | 46 | 43 € | 1 960,21 € | |
| | VRD Eaux vannes | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 863 € | 1 863,47 € | |
| | VRD Eaux usées | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 803 € | 802,95 € | |
| | VRD Eaux Pluviales | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 953 € | 952,70 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 819,33 € |
| 1.2 | **MAÇONNERIE-PLANCHER BAS DU RDC** | | | | | | | | |
| | Sable pour couche de forme | 12,5 | 10,5 | 0,2 | m³ | 26 | 16 € | 415,28 € | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 12,5 | 10,5 | 0 | m³ | 0 | 316 € | 0,00 € | |
| | Dalle béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,15 | m³ | 20 | 79 € | 1 552,06 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 13 239,13 € |
| 1.3 | **MAÇONNERIE-PLANCHER HAUT DU RDC** | | | | | | | | |
| | Peinture | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 14 € | 1 628,53 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 34 € | 3 968,55 € | |
| | Dalle portée béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m³ | 33 | 79 € | 2 586,77 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 19 455,64 € |
| 1.4 | **MURS EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture interieure | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 14 € | 2 313,75 € | |
| | Platre enduite sur bloc beton | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 26 € | 4 301,67 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,10 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 54 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 6,3 | 44,4 | 0,1 | m³ | 19 | 316 € | 6 144,66 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,20 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 57 € | ########## | |
| | Rupteur Pont Thermique XPS ép.100mm R=2,86 | 0 | 44,4 | 2 | ml | 0 | 100 € | 0,00 € | |
| | Pare-vapeur ( en climat chaud ext isolation ) pose soigneuse | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 39 € | 7 529,52 € | |
| | Enduit exterieur etanche | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 30 € | 5 836,31 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 47 535,94 € |
| 1.5 | **TOITURE** | | | | | | | | |
| | Peinture plafond | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 40 € | 9 424,80 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 26 € | 6 151,53 € | |
| | Plancher porté en béton ep:20cm | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m² | 33 | 378 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.200mm R=5,7 | 11,9 | 9,9 | 0,2 | m³ | 24 | 316 € | 7 454,45 € | |
| | Étanchéité toiture bitumineuse | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 38 € | 4 485,03 € | |
| | Chape de protection de l'etancheité | 11,9 | 9,9 | 0,1 | m³ | 12 | 53 € | 619,92 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 40 533,39 € |
| 1.6 | **CLOISONS INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 14 € | 3 006,58 € | |
| | Enduit - deux faces | 75 | 2,9 | 2 | m² | 435 | 24 € | ########## | |
| | Mur brique terre cuite alveolaire 0,10 x 0,20 x 0,50 | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 66 € | ########## | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 27 824,05 € |
| | **TOTAL LOT 1** | | | | | | | | 163 407,47 € |
| LOT 2 - OUVERTURES | | | | | | | | | |
| 2.1 | **MENUISERIE EXTERIEURE** | | | | | | | | |
| | Fenêtre 2 fermeture a la francaise - double vitrage Ug=2,5W | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 543 € | ########## | |
| | Porte d'entrée U=1 W/Km2 | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 604 € | 1 603,53 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 48 072,12 € |
| 2.2 | **BRISE-SOLEIL EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Brise-soleil sur fenetres | 85,5 | 0 | 1 | m2 | 0 | 318 € | 0,00 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 0,00 € |
| 2.3 | **RIDEAUX INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Rideau interieur opaque derriere fenetres | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 104 € | 8 863,11 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 8 863,11 € |
| | **TOTAL LOT 2** | | | | | | | | 56 935,23 € |

## LOT3 - AGENCEMENT INTERIEUR

### 3.1 MENUISERIE INTERIEURE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| portes interieures | | 9 | 1 | 1 | u | 9 | 162 € | 1 455,60 € | | |
| placards | | 6 | 1 | 1 | u | 6 | 500 € | 3 000,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 4 455,60 € | |
| | **TOTAL LOT 3** | | | | | | | | | 4 455,60 € |

## LOT 4 - PLOMBERIE ET EAU

### 4.1 PLOMBERIE SANITAIRE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distribution eau potable en cuivre | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 41 € | 5 407,50 € | | |
| Distribution evacuation Eaux Vannes-Eaux Usees | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 23 € | 2 967,84 € | | |
| Arrivée generale Eau Potable + brachement compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 315 € | 1 315,00 € | | |
| Robinetterie | | 10 | 1 | 1 | u | 10 | 1 050 € | ########## | | |
| Sanitaires-WC | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 190 € | 570,18 € | | |
| Douche/baignoire | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 416 € | 1 246,69 € | | |
| Lavabo | | 4 | 1 | 1 | u | 4 | 426 € | 1 702,05 € | | |
| Evier cuisine | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 163 € | 163,48 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 23 872,74 € | |
| | **TOTAL LOT 4** | | | | | | | | | 23 872,74 € |

## LOT 5 - CONFORT THERMIQUE ET QUALITE DE L'AIR

### 5.1 CVC

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Climatisation : chiller + splits muraux ( 1 ensemble par etage | | 2 | 1 | 1 | u | 2 | 6 196 € | ########## | | |
| Chauffe-eau thermodynamique - Gaz | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 2 785 € | 2 785,14 € | | |
| VMC Simple flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 660 € | 659,79 € | | |
| VMC double flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| VMC distribution des gaines | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 15 836,93 € | |
| | **TOTAL LOT 5** | | | | | | | | | 15 836,93 € |

## LOT 6 - ELECTRICITE

### 6.1 ELECTRICITE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Branchements reseaux generale + compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 10 667 € | ########## | | |
| Appareillage : prises, rg45,.. | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 113 € | 2 260,00 € | | |
| Eclairage | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 103 € | 2 066,67 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 993,33 € | |
| | **TOTAL LOT 6** | | | | | | | | | 14 993,33 € |

## LOT 7 - ELECTROMENAGERS ET ACCESOIRES

### 7.1 ELECTROMENAGERS

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frigo | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 950 € | 950,00 € | | |
| Lavevaisselle | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 650 € | 650,00 € | | |
| Lavelinge | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Microondes | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 250 € | 250,00 € | | |
| Television | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Feux electriques | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 320 € | 320,00 € | | |
| Four | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 100 € | 1 100,00 € | | |
| Ordinateurs | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 3 000 € | 3 000,00 € | | |
| AUTRE : - | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 7 970,00 € | |
| | **TOTAL LOT 7** | | | | | | | | | 7 970,00 € |

| | | |
|---|---|---|
| Hauteur entre planchers | 3,15 | m |
| Longueur exterieure | 12,5 | m |
| Largeur exterieure | 10,5 | m |
| Epaisseur structure | 0,2 | m |
| Epaisseur Planchers portés | 0,25 | m |
| Epaisseur Dalle sur Terre pleine | 0,15 | m |
| Epaisseur isolant murs | 0,1 | m |
| Epaisseur isolant toiture | 0,2 | m |
| Epaisseur isolant sol PbRdC | 0 | m |
| Lineaire de cloisons interieurs | 75 | m |
| Surface des murs RdC | 144,9 | m² |
| Surface des murs R+1 | 144,9 | m² |
| dim. petites fenetres 1,8 | 1,5 | m |
| dim. grandes fenetres 1,8 | 2,5 | m |
| Surfaces petites | 2,7 | m² |
| Surfaces grandes | 4,5 | m² |
| Surface des fenetres NORD | 19,8 | m² |
| Surface des fenetres SUD | 15,3 | m² |
| Surface des fenetres EST | 25,2 | m² |
| Surface des fenetres OUEST | 25,2 | m² |
| **Taux d'ouverture TOTAL** | **30%** | |
| Taux d'ouverture NORD | 30% | |
| Taux d'ouverture SUD | 23% | |
| Taux d'ouverture EST | 32% | |
| Taux d'ouverture OUEST | 32% | |
| Nombre de fenetres | 27 | u |

| | |
|---|---|
| **TOTAL PROJET** | **287471,3 €H** |
| **TOTAL m2** | **223,12 m** |
| **RATIO €/m2** | **1288 €/** |
| **variation s/ Base:** | **2823,6 €I** |

**MODELE : VARIANTE MAISON PLAIN PIED MOINS COMPACTE**

| CODE | LIBELLÉ | DIM 1 | DIM2 | DIM3 | U | Q | PU | TOTAL HT | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **LOT 1 - ENVELOPPE EXTERIEUR** | | | | | | | | | |
| **1.1** | **MAÇONNERIE-FONDATIONS** | | | | | | | | |
| | Plateforme et terrassement | 12,5 | 10,5 | 2 | m² | 263 | 34 € | 8 919,75 € | |
| | Semelles filantes en béton armé | 46 | 0,5 | 0,8 | m³ | 18 | 378 € | 6 952,13 € | |
| | Murs du sous-bassement bloc beton | 46 | 0,5 | 2 | m² | 46 | 57 € | 2 608,11 € | |
| | Drain peripherique | 12,5 | 10,5 | 4 | ml | 92 | 43 € | 3 920,43 € | |
| | VRD Eaux vannes | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 863 € | 1 863,47 € | |
| | VRD Eaux usées | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 803 € | 802,95 € | |
| | VRD Eaux Pluviales | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 953 € | 952,70 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 26 019,53 € |
| **1.2** | **MAÇONNERIE-PLANCHER BAS DU RDC** | | | | | | | | |
| | Sable pour couche de forme | 12,5 | 10,5 | 0,2 | m³ | 26 | 16 € | 415,28 € | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 12,5 | 10,5 | 0 | m³ | 0 | 316 € | 0,00 € | |
| | Dalle béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,15 | m³ | 20 | 79 € | 1 552,06 € | |
| | Escalier beton | 0 | 1 | 1 | u | 0 | 5 400 € | 0,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 7 839,13 € |
| **1.3** | **MAÇONNERIE-PLANCHER HAUT DU RDC** | | | | | | | | |
| | Peinture | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 14 € | 1 628,53 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 34 € | 3 968,55 € | |
| | Dalle portée béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m³ | 33 | 79 € | 2 586,77 € | |
| | Escalier beton | 0 | 1 | 1 | u | 0 | 5 400 € | 0,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 055,64 € |
| **1.4** | **MURS EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture interieure | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 14 € | 2 313,75 € | |
| | Platre enduite sur bloc beton | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 26 € | 4 301,67 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,10 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 54 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 6,3 | 44,4 | 0,1 | m³ | 19 | 316 € | 6 144,66 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,20 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 57 € | ########## | |
| | Rupteur Pont Thermique XPS ép.100mm R=2,86 | 0 | 44,4 | 2 | ml | 0 | 100 € | 0,00 € | |
| | Pare-vapeur ( en climat chaud ext isolation ) | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 24 € | 4 705,95 € | |
| | Enduit exterieur etanche | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 30 € | 5 836,31 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 44 712,37 € |
| **1.5** | **TOITURE** | | | | | | | | |
| | Peinture plafond | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 40 € | 9 424,80 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 26 € | 6 151,53 € | |
| | Plancher porté en béton ep:20cm | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m² | 33 | 378 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.200mm R=5,7 | 11,9 | 9,9 | 0,4 | m³ | 47 | 316 € | ########## | |
| | Étanchéité toiture bitumineuse | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 38 € | 8 970,05 € | |
| | Chape de protection de l'etancheité | 11,9 | 9,9 | 0,2 | m³ | 24 | 53 € | 1 239,83 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 53 092,78 € |
| **1.6** | **CLOISONS INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 14 € | 3 006,58 € | |
| | Enduit - deux faces | 75 | 2,9 | 2 | m² | 435 | 24 € | ########## | |
| | Mur brique terre cuite alveolaire 0,10 x 0,20 x 0,50 | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 66 € | ########## | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 27 824,05 € |
| | **TOTAL LOT 1** | | | | | | | | 173 543,50 € |
| **LOT 2 - OUVERTURES** | | | | | | | | | |
| **2.1** | **MENUISERIE EXTERIEURE** | | | | | | | | |
| | Fenêtre 2 fermeture a la francaise - double vitrage Ug=2,5W | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 543 € | ########## | |
| | Porte d'entrée U=1 W/Km2 | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 604 € | 1 603,53 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 48 072,12 € |
| **2.2** | **BRISE-SOLEIL EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Brise-soleil sur fenetres | 85,5 | 0 | 1 | m2 | 0 | 318 € | 0,00 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 0,00 € |
| **2.3** | **RIDEAUX INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Rideau interieur opaque derriere fenetres | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 104 € | 8 863,11 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 8 863,11 € |
| | **TOTAL LOT 2** | | | | | | | | 56 935,23 € |

## LOT3 - AGENCEMENT INTERIEUR

### 3.1 MENUISERIE INTERIEURE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| portes interieures | | 9 | 1 | 1 | u | 9 | 162 € | 1 455,60 € | | |
| placards | | 6 | 1 | 1 | u | 6 | 500 € | 3 000,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 4 455,60 € | |
| | **TOTAL LOT 3** | | | | | | | | | 4 455,60 € |

## LOT 4 - PLOMBERIE ET EAU

### 4.1 PLOMBERIE SANITAIRE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distribution eau potable en cuivre | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 41 € | 5 407,50 € | | |
| Distribution evacuation Eaux Vannes-Eaux Usees | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 23 € | 2 967,84 € | | |
| Arrivée generale Eau Potable + brachement compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 315 € | 1 315,00 € | | |
| Robinetterie | | 10 | 1 | 1 | u | 10 | 1 050 € | ########## | | |
| Sanitaires-WC | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 190 € | 570,18 € | | |
| Douche/baignoire | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 416 € | 1 246,69 € | | |
| Lavabo | | 4 | 1 | 1 | u | 4 | 426 € | 1 702,05 € | | |
| Evier cuisine | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 163 € | 163,48 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 23 872,74 € | |
| | **TOTAL LOT 4** | | | | | | | | | 23 872,74 € |

## LOT 5 - CONFORT THERMIQUE ET QUALITE DE L'AIR

### 5.1 CVC

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Climatisation : chiller + splits muraux ( 1 ensemble par etage | | 2 | 1 | 1 | u | 2 | 6 196 € | ########## | | |
| Chauffe-eau thermodynamique - Gaz | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 2 785 € | 2 785,14 € | | |
| VMC Simple flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 660 € | 659,79 € | | |
| VMC double flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| VMC distribution des gaines | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 15 836,93 € | |
| | **TOTAL LOT 5** | | | | | | | | | 15 836,93 € |

## LOT 6 - ELECTRICITE

### 6.1 ELECTRICITE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Branchements reseaux generale + compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 10 667 € | ########## | | |
| Appareillage : prises, rg45,.. | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 113 € | 2 260,00 € | | |
| Eclairage | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 103 € | 2 066,67 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 993,33 € | |
| | **TOTAL LOT 6** | | | | | | | | | 14 993,33 € |

## LOT 7 - ELECTROMENAGERS ET ACCESOIRES

### 7.1 ELECTROMENAGERS

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frigo | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 950 € | 950,00 € | | |
| Lavevaisselle | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 650 € | 650,00 € | | |
| Lavelinge | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Microondes | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 250 € | 250,00 € | | |
| Television | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Feux electriques | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 320 € | 320,00 € | | |
| Four | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 100 € | 1 100,00 € | | |
| Ordinateurs | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 3 000 € | 3 000,00 € | | |
| AUTRE : - | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 7 970,00 € | |
| | **TOTAL LOT 7** | | | | | | | | | 7 970,00 € |

| | | |
|---|---|---|
| Hauteur entre planchers | 3,15 | m |
| Longueur exterieure | 12,5 | m |
| Largeur exterieure | 10,5 | m |
| Epaisseur structure | 0,2 | m |
| Epaisseur Planchers portés | 0,25 | m |
| Epaisseur Dalle sur Terre pleine | 0,15 | m |
| Epaisseur isolant murs | 0,1 | m |
| Epaisseur isolant toiture | 0,2 | m |
| Epaisseur isolant sol PbRdC | 0 | m |
| Lineaire de cloisons interieurs | 75 | m |
| Surface des murs RdC | 144,9 | m² |
| Surface des murs R+1 | 144,9 | m² |
| dim. petites fenetres 1,8 | 1,5 | m |
| dim. grandes fenetres 1,8 | 2,5 | m |
| Surfaces petites | 2,7 | m² |
| Surfaces grandes | 4,5 | m² |
| Surface des fenetres NORD | 19,8 | m² |
| Surface des fenetres SUD | 15,3 | m² |
| Surface des fenetres EST | 25,2 | m² |
| Surface des fenetres OUEST | 25,2 | m² |
| **Taux d'ouverture TOTAL** | **30%** | |
| Taux d'ouverture NORD | 30% | |
| Taux d'ouverture SUD | 23% | |
| Taux d'ouverture EST | 32% | |
| Taux d'ouverture OUEST | 32% | |
| Nombre de fenetres | 27 | u |

| | |
|---|---|
| **TOTAL PROJET** | **297607,3 €H** |
| **TOTAL m2** | **223,12 m** |
| **RATIO €/m2** | **1334 €/** |
| **variation s/ Base:** | **12960 €I** |

**MODELE : VARIANTE DOUBLE FLUX AVEC RECUPERATION DU FROID**

| CODE | LIBELLÉ | DIM 1 | DIM2 | DIM3 | U | Q | PU | TOTAL HT | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **LOT 1 - ENVELOPPE EXTERIEUR** | | | | | | | | | |
| **1.1** | **MAÇONNERIE-FONDATIONS** | | | | | | | | |
| | Plateforme et terrassement | 12,5 | 10,5 | 1 | m² | 131 | 34 € | 4 459,88 € | |
| | Semelles filantes en béton armé | 46 | 0,5 | 0,4 | m³ | 9 | 378 € | 3 476,07 € | |
| | Murs du sous-bassement bloc beton | 46 | 0,5 | 1 | m² | 23 | 57 € | 1 304,05 € | |
| | Drain peripherique | 12,5 | 10,5 | 2 | ml | 46 | 43 € | 1 960,21 € | |
| | VRD Eaux vannes | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 863 € | 1 863,47 € | |
| | VRD Eaux usées | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 803 € | 802,95 € | |
| | VRD Eaux Pluviales | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 953 € | 952,70 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 819,33 € |
| **1.2** | **MAÇONNERIE-PLANCHER BAS DU RDC** | | | | | | | | |
| | Sable pour couche de forme | 12,5 | 10,5 | 0,2 | m³ | 26 | 16 € | 415,28 € | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 12,5 | 10,5 | 0 | m³ | 0 | 316 € | 0,00 € | |
| | Dalle béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,15 | m³ | 20 | 79 € | 1 552,06 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 13 239,13 € |
| **1.3** | **MAÇONNERIE-PLANCHER HAUT DU RDC** | | | | | | | | |
| | Peinture | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 14 € | 1 628,53 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 34 € | 3 968,55 € | |
| | Dalle portée béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m³ | 33 | 79 € | 2 586,77 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 19 455,64 € |
| **1.4** | **MURS EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture interieure | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 14 € | 2 313,75 € | |
| | Platre enduite sur bloc beton | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 26 € | 4 301,67 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,10 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 54 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 6,3 | 44,4 | 0,1 | m³ | 19 | 316 € | 6 144,66 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,20 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 57 € | ########## | |
| | Rupteur Pont Thermique XPS ép.100mm R=2,86 | 0 | 44,4 | 2 | ml | 0 | 100 € | 0,00 € | |
| | Pare-vapeur ( en climat chaud ext isolation ) | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 24 € | 4 705,95 € | |
| | Enduit exterieur etanche | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 30 € | 5 836,31 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 44 712,37 € |
| **1.5** | **TOITURE** | | | | | | | | |
| | Peinture plafond | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 40 € | 9 424,80 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 26 € | 6 151,53 € | |
| | Plancher porté en béton ep:20cm | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m² | 33 | 378 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.200mm R=5,7 | 11,9 | 9,9 | 0,2 | m³ | 24 | 316 € | 7 454,45 € | |
| | Étanchéité toiture bitumineuse | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 38 € | 4 485,03 € | |
| | Chape de protection de l'etancheité | 11,9 | 9,9 | 0,1 | m³ | 12 | 53 € | 619,92 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 40 533,39 € |
| **1.6** | **CLOISONS INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 14 € | 3 006,58 € | |
| | Enduit - deux faces | 75 | 2,9 | 2 | m² | 435 | 24 € | ########## | |
| | Mur brique terre cuite alveolaire 0,10 x 0,20 x 0,50 | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 66 € | ########## | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 27 824,05 € |
| | **TOTAL LOT 1** | | | | | | | | 160 583,90 € |
| **LOT 2 - OUVERTURES** | | | | | | | | | |
| **2.1** | **MENUISERIE EXTERIEURE** | | | | | | | | |
| | Fenêtre 2 fermeture a la francaise - double vitrage Ug=2,5W | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 543 € | ########## | |
| | Porte d'entrée U=1 W/Km2 | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 604 € | 1 603,53 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 48 072,12 € |
| **2.2** | **BRISE-SOLEIL EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Brise-soleil sur fenetres | 85,5 | 0 | 1 | m2 | 0 | 318 € | 0,00 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 0,00 € |
| **2.3** | **RIDEAUX INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Rideau interieur opaque derriere fenetres | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 104 € | 8 863,11 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 8 863,11 € |
| | **TOTAL LOT 2** | | | | | | | | 56 935,23 € |

## LOT3 - AGENCEMENT INTERIEUR

### 3.1 MENUISERIE INTERIEURE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| portes interieures | | 9 | 1 | 1 | u | 9 | 162 € | 1 455,60 € | | |
| placards | | 6 | 1 | 1 | u | 6 | 500 € | 3 000,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 4 455,60 € | |
| | **TOTAL LOT 3** | | | | | | | | | 4 455,60 € |

## LOT 4 - PLOMBERIE ET EAU

### 4.1 PLOMBERIE SANITAIRE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distribution eau potable en cuivre | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 41 € | 5 407,50 € | | |
| Distribution evacuation Eaux Vannes-Eaux Usees | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 23 € | 2 967,84 € | | |
| Arrivée generale Eau Potable + brachement compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 315 € | 1 315,00 € | | |
| Robinetterie | | 10 | 1 | 1 | u | 10 | 1 050 € | ########## | | |
| Sanitaires-WC | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 190 € | 570,18 € | | |
| Douche/baignoire | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 416 € | 1 246,69 € | | |
| Lavabo | | 4 | 1 | 1 | u | 4 | 426 € | 1 702,05 € | | |
| Evier cuisine | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 163 € | 163,48 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 23 872,74 € | |
| | **TOTAL LOT 4** | | | | | | | | | 23 872,74 € |

## LOT 5 - CONFORT THERMIQUE ET QUALITE DE L'AIR

### 5.1 CVC

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Climatisation : chiller + splits muraux ( 1 ensemble par etage | | 2 | 1 | 1 | u | 2 | 6 196 € | ########## | | |
| Chauffe-eau thermodynamique - Gaz | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 2 785 € | 2 785,14 € | | |
| VMC simple flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| VMC Double flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 12 000 € | ########## | | |
| VMC distribution des gaines | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 8 000 € | 8 000,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 35 177,14 € | |
| | **TOTAL LOT 5** | | | | | | | | | 35 177,14 € |

## LOT 6 - ELECTRICITE

### 6.1 ELECTRICITE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Branchements reseaux generale + compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 10 667 € | ########## | | |
| Appareillage : prises, rg45,.. | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 113 € | 2 260,00 € | | |
| Eclairage | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 103 € | 2 066,67 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 993,33 € | |
| | **TOTAL LOT 6** | | | | | | | | | 14 993,33 € |

## LOT 7 - ELECTROMENAGERS ET ACCESOIRES

### 7.1 ELECTROMENAGERS

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frigo | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 950 € | 950,00 € | | |
| Lavevaisselle | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 650 € | 650,00 € | | |
| Lavelinge | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Microondes | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 250 € | 250,00 € | | |
| Television | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Feux electriques | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 320 € | 320,00 € | | |
| Four | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 100 € | 1 100,00 € | | |
| Ordinateurs | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 3 000 € | 3 000,00 € | | |
| AUTRE : - | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 7 970,00 € | |
| | **TOTAL LOT 7** | | | | | | | | | 7 970,00 € |

| | | |
|---|---|---|
| Hauteur entre planchers | 3,15 | m |
| Longueur exterieure | 12,5 | m |
| Largeur exterieure | 10,5 | m |
| Epaisseur structure | 0,2 | m |
| Epaisseur Planchers portés | 0,25 | m |
| Epaisseur Dalle sur Terre pleine | 0,15 | m |
| Epaisseur isolant murs | 0,1 | m |
| Epaisseur isolant toiture | 0,2 | m |
| Epaisseur isolant sol PbRdC | 0 | m |
| Lineaire de cloisons interieurs | 75 | m |
| Surface des murs RdC | 144,9 | m² |
| Surface des murs R+1 | 144,9 | m² |
| dim. petites fenetres 1,8 | 1,5 | m |
| dim. grandes fenetres 1,8 | 2,5 | m |
| Surfaces petites | 2,7 | m² |
| Surfaces grandes | 4,5 | m² |
| Surface des fenetres NORD | 19,8 | m² |
| Surface des fenetres SUD | 15,3 | m² |
| Surface des fenetres EST | 25,2 | m² |
| Surface des fenetres OUEST | 25,2 | m² |
| **Taux d'ouverture TOTAL** | **30%** | |
| Taux d'ouverture NORD | 30% | |
| Taux d'ouverture SUD | 23% | |
| Taux d'ouverture EST | 32% | |
| Taux d'ouverture OUEST | 32% | |
| Nombre de fenetres | 27 | u |

| | |
|---|---|
| **TOTAL PROJET** | **303987,9 €H** |
| **TOTAL m2** | **223,12 m** |
| **RATIO €/m2** | **1362 €/** |
| **variation s/ Base:** | **19340 €I** |

**MODELE : RADIANT COOLING**

| CODE | LIBELLÉ | DIM 1 | DIM2 | DIM3 | U | Q | PU | TOTAL HT | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **LOT 1 - ENVELOPPE EXTERIEUR** | | | | | | | | | |
| **1.1** | **MAÇONNERIE-FONDATIONS** | | | | | | | | |
| | Plateforme et terrassement | 12,5 | 10,5 | 1 | m² | 131 | 34 € | 4 459,88 € | |
| | Semelles filantes en béton armé | 46 | 0,5 | 0,4 | m³ | 9 | 378 € | 3 476,07 € | |
| | Murs du sous-bassement bloc beton | 46 | 0,5 | 1 | m² | 23 | 57 € | 1 304,05 € | |
| | Drain peripherique | 12,5 | 10,5 | 2 | ml | 46 | 43 € | 1 960,21 € | |
| | VRD Eaux vannes | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 863 € | 1 863,47 € | |
| | VRD Eaux usées | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 803 € | 802,95 € | |
| | VRD Eaux Pluviales | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 953 € | 952,70 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 819,33 € |
| **1.2** | **MAÇONNERIE-PLANCHER BAS DU RDC** | | | | | | | | |
| | Sable pour couche de forme | 12,5 | 10,5 | 0,2 | m³ | 26 | 16 € | 415,28 € | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 12,5 | 10,5 | 0 | m³ | 0 | 316 € | 0,00 € | |
| | Dalle béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,15 | m³ | 20 | 79 € | 1 552,06 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 13 239,13 € |
| **1.3** | **MAÇONNERIE-PLANCHER HAUT DU RDC** | | | | | | | | |
| | Peinture | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 14 € | 1 628,53 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 34 € | 3 968,55 € | |
| | Dalle portée béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m³ | 33 | 79 € | 2 586,77 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 19 455,64 € |
| **1.4** | **MURS EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture interieure | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 14 € | 2 313,75 € | |
| | Platre enduite sur bloc beton | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 26 € | 4 301,67 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,10 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 54 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 6,3 | 44,4 | 0,1 | m³ | 19 | 316 € | 6 144,66 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,20 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 57 € | ########## | |
| | Rupteur Pont Thermique XPS ép.100mm R=2,86 | 0 | 44,4 | 2 | ml | 0 | 100 € | 0,00 € | |
| | Pare-vapeur ( en climat chaud ext isolation ) | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 24 € | 4 705,95 € | |
| | Enduit exterieur etanche | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 30 € | 5 836,31 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 44 712,37 € |
| **1.5** | **TOITURE** | | | | | | | | |
| | Peinture plafond | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 40 € | 9 424,80 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 26 € | 6 151,53 € | |
| | Plancher porté en béton ep:20cm | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m² | 33 | 378 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.200mm R=5,7 | 11,9 | 9,9 | 0,2 | m³ | 24 | 316 € | 7 454,45 € | |
| | Étanchéité toiture bitumineuse | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 38 € | 4 485,03 € | |
| | Chape de protection de l'etancheité | 11,9 | 9,9 | 0,1 | m³ | 12 | 53 € | 619,92 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 40 533,39 € |
| **1.6** | **CLOISONS INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 14 € | 3 006,58 € | |
| | Enduit - deux faces | 75 | 2,9 | 2 | m² | 435 | 24 € | ########## | |
| | Mur brique terre cuite alveolaire 0,10 x 0,20 x 0,50 | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 66 € | ########## | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 27 824,05 € |
| | **TOTAL LOT 1** | | | | | | | | 160 583,90 € |
| **LOT 2 - OUVERTURES** | | | | | | | | | |
| **2.1** | **MENUISERIE EXTERIEURE** | | | | | | | | |
| | Fenêtre 2 fermeture a la francaise - double vitrage Ug=2,5W | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 543 € | ########## | |
| | Porte d'entrée U=1 W/Km2 | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 604 € | 1 603,53 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 48 072,12 € |
| **2.2** | **BRISE-SOLEIL EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Brise-soleil sur fenetres | 85,5 | 0 | 1 | m2 | 0 | 318 € | 0,00 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 0,00 € |
| **2.3** | **RIDEAUX INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Rideau interieur opaque derriere fenetres | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 104 € | 8 863,11 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 8 863,11 € |
| | **TOTAL LOT 2** | | | | | | | | 56 935,23 € |

## LOT3 - AGENCEMENT INTERIEUR

### 3.1 MENUISERIE INTERIEURE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| portes interieures | | 9 | 1 | 1 | u | 9 | 162 € | 1 455,60 € | | |
| placards | | 6 | 1 | 1 | u | 6 | 500 € | 3 000,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 4 455,60 € | |
| | **TOTAL LOT 3** | | | | | | | | | 4 455,60 € |

## LOT 4 - PLOMBERIE ET EAU

### 4.1 PLOMBERIE SANITAIRE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distribution eau potable en cuivre | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 41 € | 5 407,50 € | | |
| Distribution evacuation Eaux Vannes-Eaux Usees | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 23 € | 2 967,84 € | | |
| Arrivée generale Eau Potable + brachement compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 315 € | 1 315,00 € | | |
| Robinetterie | | 10 | 1 | 1 | u | 10 | 1 050 € | ########## | | |
| Sanitaires-WC | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 190 € | 570,18 € | | |
| Douche/baignoire | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 416 € | 1 246,69 € | | |
| Lavabo | | 4 | 1 | 1 | u | 4 | 426 € | 1 702,05 € | | |
| Evier cuisine | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 163 € | 163,48 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 23 872,74 € | |
| | **TOTAL LOT 4** | | | | | | | | | 23 872,74 € |

## LOT 5 - CONFORT THERMIQUE ET QUALITE DE L'AIR

### 5.1 CVC

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Climatisation : chiller + splits muraux ( 1 ensemble par etage | | 2 | 1 | 1 | u | 2 | 6 196 € | ########## | | |
| Chauffe-eau thermodynamique - Gaz | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 2 785 € | 2 785,14 € | | |
| VMC Simple flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 660 € | 659,79 € | | |
| VMC double flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| VMC distribution des gaines | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 15 836,93 € | |
| | **TOTAL LOT 5** | | | | | | | | | 15 836,93 € |

## LOT 6 - ELECTRICITE

### 6.1 ELECTRICITE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Branchements reseaux generale + compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 10 667 € | ########## | | |
| Appareillage : prises, rg45,.. | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 113 € | 2 260,00 € | | |
| Eclairage | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 103 € | 2 066,67 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 993,33 € | |
| | **TOTAL LOT 6** | | | | | | | | | 14 993,33 € |

## LOT 7 - ELECTROMENAGERS ET ACCESOIRES

### 7.1 ELECTROMENAGERS

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frigo | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 950 € | 950,00 € | | |
| Lavevaisselle | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 650 € | 650,00 € | | |
| Lavelinge | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Microondes | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 250 € | 250,00 € | | |
| Television | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Feux electriques | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 320 € | 320,00 € | | |
| Four | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 100 € | 1 100,00 € | | |
| Ordinateurs | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 3 000 € | 3 000,00 € | | |
| AUTRE : Equipement RADIANT COOLING | | 10 | 3 | 1 | u | 30 | 200 € | 4 500,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 12 470,00 € | |
| | **TOTAL LOT 7** | | | | | | | | | 12 470,00 € |

| | | |
|---|---|---|
| Hauteur entre planchers | 3,15 | m |
| Longueur exterieure | 12,5 | m |
| Largeur exterieure | 10,5 | m |
| Epaisseur structure | 0,2 | m |
| Epaisseur Planchers portés | 0,25 | m |
| Epaisseur Dalle sur Terre pleine | 0,15 | m |
| Epaisseur isolant murs | 0,1 | m |
| Epaisseur isolant toiture | 0,2 | m |
| Epaisseur isolant sol PbRdC | 0 | m |
| Lineaire de cloisons interieurs | 75 | m |
| Surface des murs RdC | 144,9 | m² |
| Surface des murs R+1 | 144,9 | m² |
| dim. petites fenetres 1,8 | 1,5 | m |
| dim. grandes fenetres 1,8 | 2,5 | m |
| Surfaces petites | 2,7 | m² |
| Surfaces grandes | 4,5 | m² |
| Surface des fenetres NORD | 19,8 | m² |
| Surface des fenetres SUD | 15,3 | m² |
| Surface des fenetres EST | 25,2 | m² |
| Surface des fenetres OUEST | 25,2 | m² |
| **Taux d'ouverture TOTAL** | **30%** | |
| Taux d'ouverture NORD | 30% | |
| Taux d'ouverture SUD | 23% | |
| Taux d'ouverture EST | 32% | |
| Taux d'ouverture OUEST | 32% | |
| Nombre de fenetres | 27 | u |

| | |
|---|---|
| **TOTAL PROJET** | **289147,7 €H** |
| **TOTAL m2** | **223,12 m** |
| **RATIO €/m2** | **1296 €/** |
| **variation s/ Base:** | **4500 €I** |

**MODELE : TRES FORTE INERTIE: COUCHE INT. DE L'ENVELOPPE EN BETON ARME ET CLOISONS INTERIEURS EN MACONNERIE**

| CODE | LIBELLÉ | DIM 1 | DIM2 | DIM3 | U | Q | PU | TOTAL HT | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **LOT 1 - ENVELOPPE EXTERIEUR** | | | | | | | | | |
| **1.1** | **MAÇONNERIE-FONDATIONS** | | | | | | | | |
| | Plateforme et terrassement | 12,5 | 10,5 | 1 | m² | 131 | 34 € | 4 459,88 € | |
| | Semelles filantes en béton armé | 46 | 0,5 | 0,4 | m³ | 9 | 378 € | 3 476,07 € | |
| | Murs du sous-bassement bloc beton | 46 | 0,5 | 1 | m² | 23 | 57 € | 1 304,05 € | |
| | Drain peripherique | 12,5 | 10,5 | 2 | ml | 46 | 43 € | 1 960,21 € | |
| | VRD Eaux vannes | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 863 € | 1 863,47 € | |
| | VRD Eaux usées | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 803 € | 802,95 € | |
| | VRD Eaux Pluviales | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 953 € | 952,70 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 819,33 € |
| **1.2** | **MAÇONNERIE-PLANCHER BAS DU RDC** | | | | | | | | |
| | Sable pour couche de forme | 12,5 | 10,5 | 0,2 | m³ | 26 | 16 € | 415,28 € | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 12,5 | 10,5 | 0 | m³ | 0 | 316 € | 0,00 € | |
| | Dalle béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,15 | m³ | 20 | 79 € | 1 552,06 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 13 239,13 € |
| **1.3** | **MAÇONNERIE-PLANCHER HAUT DU RDC** | | | | | | | | |
| | Peinture | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 14 € | 1 628,53 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 34 € | 3 968,55 € | |
| | Dalle portée béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m³ | 33 | 79 € | 2 586,77 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 19 455,64 € |
| **1.4** | **MURS EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture interieure | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 14 € | 2 313,75 € | |
| | Platre enduite sur bloc beton | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 26 € | 4 301,67 € | |
| | Mur beton armé epaisseur 30cm | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 110 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 6,3 | 44,4 | 0,1 | m³ | 19 | 316 € | 6 144,66 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,20 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 57 € | ########## | |
| | Rupteur Pont Thermique XPS ép.100mm R=2,86 | 0 | 44,4 | 2 | ml | 0 | 100 € | 0,00 € | |
| | Pare-vapeur ( en climat chaud ext isolation ) | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 24 € | 4 705,95 € | |
| | Enduit exterieur etanche | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 30 € | 5 836,31 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 55 678,42 € |
| **1.5** | **TOITURE** | | | | | | | | |
| | Peinture plafond | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 40 € | 9 424,80 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 26 € | 6 151,53 € | |
| | Plancher porté en béton ep:20cm | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m² | 33 | 378 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.200mm R=5,7 | 11,9 | 9,9 | 0,2 | m³ | 24 | 316 € | 7 454,45 € | |
| | Étanchéité toiture bitumineuse | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 38 € | 4 485,03 € | |
| | Chape de protection de l'etancheité | 11,9 | 9,9 | 0,1 | m³ | 12 | 53 € | 619,92 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 40 533,39 € |
| **1.6** | **CLOISONS INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 14 € | 3 006,58 € | |
| | Enduit - deux faces | 75 | 2,9 | 2 | m² | 435 | 24 € | ########## | |
| | Mur brique terre cuite alveolaire 0,10 x 0,20 x 0,50 | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 66 € | ########## | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 27 824,05 € |
| | **TOTAL LOT 1** | | | | | | | | 171 549,95 € |
| **LOT 2 - OUVERTURES** | | | | | | | | | |
| **2.1** | **MENUISERIE EXTERIEURE** | | | | | | | | |
| | Fenêtre 2 fermeture a la francaise - double vitrage Ug=2,5W | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 543 € | ########## | |
| | Porte d'entrée U=1 W/Km2 | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 604 € | 1 603,53 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 48 072,12 € |
| **2.2** | **BRISE-SOLEIL EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Brise-soleil sur fenetres | 85,5 | 0 | 1 | m2 | 0 | 318 € | 0,00 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 0,00 € |
| **2.3** | **RIDEAUX INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Rideau interieur opaque derriere fenetres | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 104 € | 8 863,11 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 8 863,11 € |
| | **TOTAL LOT 2** | | | | | | | | 56 935,23 € |

## LOT3 - AGENCEMENT INTERIEUR

### 3.1 MENUISERIE INTERIEURE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| portes interieures | | 9 | 1 | 1 | u | 9 | 162 € | 1 455,60 € | | |
| placards | | 6 | 1 | 1 | u | 6 | 500 € | 3 000,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 4 455,60 € | |
| | **TOTAL LOT 3** | | | | | | | | | 4 455,60 € |

## LOT 4 - PLOMBERIE ET EAU

### 4.1 PLOMBERIE SANITAIRE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distribution eau potable en cuivre | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 41 € | 5 407,50 € | | |
| Distribution evacuation Eaux Vannes-Eaux Usees | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 23 € | 2 967,84 € | | |
| Arrivée generale Eau Potable + brachement compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 315 € | 1 315,00 € | | |
| Robinetterie | | 10 | 1 | 1 | u | 10 | 1 050 € | ########## | | |
| Sanitaires-WC | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 190 € | 570,18 € | | |
| Douche/baignoire | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 416 € | 1 246,69 € | | |
| Lavabo | | 4 | 1 | 1 | u | 4 | 426 € | 1 702,05 € | | |
| Evier cuisine | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 163 € | 163,48 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 23 872,74 € | |
| | **TOTAL LOT 4** | | | | | | | | | 23 872,74 € |

## LOT 5 - CONFORT THERMIQUE ET QUALITE DE L'AIR

### 5.1 CVC

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Climatisation : chiller + splits muraux ( 1 ensemble par etage | | 2 | 1 | 1 | u | 2 | 6 196 € | ########## | | |
| Chauffe-eau thermodynamique - Gaz | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 2 785 € | 2 785,14 € | | |
| VMC Simple flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 660 € | 659,79 € | | |
| VMC double flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| VMC distribution des gaines | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 15 836,93 € | |
| | **TOTAL LOT 5** | | | | | | | | | 15 836,93 € |

## LOT 6 - ELECTRICITE

### 6.1 ELECTRICITE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Branchements reseaux generale + compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 10 667 € | ########## | | |
| Appareillage : prises, rg45,.. | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 113 € | 2 260,00 € | | |
| Eclairage | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 103 € | 2 066,67 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 993,33 € | |
| | **TOTAL LOT 6** | | | | | | | | | 14 993,33 € |

## LOT 7 - ELECTROMENAGERS ET ACCESOIRES

### 7.1 ELECTROMENAGERS

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frigo | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 950 € | 950,00 € | | |
| Lavevaisselle | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 650 € | 650,00 € | | |
| Lavelinge | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Microondes | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 250 € | 250,00 € | | |
| Television | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Feux electriques | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 320 € | 320,00 € | | |
| Four | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 100 € | 1 100,00 € | | |
| Ordinateurs | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 3 000 € | 3 000,00 € | | |
| AUTRE : - | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 7 970,00 € | |
| | **TOTAL LOT 7** | | | | | | | | | 7 970,00 € |

| | | |
|---|---|---|
| Hauteur entre planchers | 3,15 | m |
| Longueur exterieure | 12,5 | m |
| Largeur exterieure | 10,5 | m |
| Epaisseur structure | 0,2 | m |
| Epaisseur Planchers portés | 0,25 | m |
| Epaisseur Dalle sur Terre pleine | 0,15 | m |
| Epaisseur isolant murs | 0,1 | m |
| Epaisseur isolant toiture | 0,2 | m |
| Epaisseur isolant sol PbRdC | 0 | m |
| Lineaire de cloisons interieurs | 75 | m |
| Surface des murs RdC | 144,9 | m² |
| Surface des murs R+1 | 144,9 | m² |
| dim. petites fenetres 1,8 | 1,5 | m |
| dim. grandes fenetres 1,8 | 2,5 | m |
| Surfaces petites | 2,7 | m² |
| Surfaces grandes | 4,5 | m² |
| Surface des fenetres NORD | 19,8 | m² |
| Surface des fenetres SUD | 15,3 | m² |
| Surface des fenetres EST | 25,2 | m² |
| Surface des fenetres OUEST | 25,2 | m² |
| **Taux d'ouverture TOTAL** | **30%** | |
| Taux d'ouverture NORD | 30% | |
| Taux d'ouverture SUD | 23% | |
| Taux d'ouverture EST | 32% | |
| Taux d'ouverture OUEST | 32% | |
| Nombre de fenetres | 27 | u |

| | |
|---|---|
| **TOTAL PROJET** | **295613,8 €H** |
| **TOTAL m2** | **223,12 m** |
| **RATIO €/m2** | **1325 €/** |
| **variation s/ Base:** | **10966 €I** |

**MODELE : EXTRACTEUR 25W SOUS TOITURE RADIATIVE**

| CODE | LIBELLÉ | DIM 1 | DIM2 | DIM3 | U | Q | PU | TOTAL HT | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **LOT 1 - ENVELOPPE EXTERIEUR** | | | | | | | | | |
| **1.1** | **MAÇONNERIE-FONDATIONS** | | | | | | | | |
| | Plateforme et terrassement | 12,5 | 10,5 | 1 | m² | 131 | 34 € | 4 459,88 € | |
| | Semelles filantes en béton armé | 46 | 0,5 | 0,4 | m³ | 9 | 378 € | 3 476,07 € | |
| | Murs du sous-bassement bloc beton | 46 | 0,5 | 1 | m² | 23 | 57 € | 1 304,05 € | |
| | Drain peripherique | 12,5 | 10,5 | 2 | ml | 46 | 43 € | 1 960,21 € | |
| | VRD Eaux vannes | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 863 € | 1 863,47 € | |
| | VRD Eaux usées | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 803 € | 802,95 € | |
| | VRD Eaux Pluviales | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 953 € | 952,70 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 819,33 € |
| **1.2** | **MAÇONNERIE-PLANCHER BAS DU RDC** | | | | | | | | |
| | Sable pour couche de forme | 12,5 | 10,5 | 0,2 | m³ | 26 | 16 € | 415,28 € | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 12,5 | 10,5 | 0 | m³ | 0 | 316 € | 0,00 € | |
| | Dalle béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,15 | m³ | 20 | 79 € | 1 552,06 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 13 239,13 € |
| **1.3** | **MAÇONNERIE-PLANCHER HAUT DU RDC** | | | | | | | | |
| | Peinture | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 14 € | 1 628,53 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 34 € | 3 968,55 € | |
| | Dalle portée béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m³ | 33 | 79 € | 2 586,77 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 19 455,64 € |
| **1.4** | **MURS EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture interieure | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 14 € | 2 313,75 € | |
| | Platre enduite sur bloc beton | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 26 € | 4 301,67 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,10 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 54 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 6,3 | 44,4 | 0,1 | m³ | 19 | 316 € | 6 144,66 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,20 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 57 € | ########## | |
| | Rupteur Pont Thermique XPS ép.100mm R=2,86 | 0 | 44,4 | 2 | ml | 0 | 100 € | 0,00 € | |
| | Pare-vapeur ( en climat chaud ext isolation ) | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 24 € | 4 705,95 € | |
| | Enduit exterieur etanche | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 30 € | 5 836,31 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 44 712,37 € |
| **1.5** | **TOITURE** | | | | | | | | |
| | Peinture plafond | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 40 € | 9 424,80 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 26 € | 6 151,53 € | |
| | Poutraison en pannes et chevons | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m² | 33 | 100 € | 3 281,25 € | |
| | Isolant Laine de verre entre chevrons ép.200mm R=5,7 | 11,9 | 9,9 | 0,2 | m³ | 24 | 316 € | 7 454,45 € | |
| | Pare-pluie | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 38 € | 4 485,03 € | |
| | Toiture en tole en acier sur tasseaux bois | 11,9 | 9,9 | 0,1 | m³ | 12 | 53 € | 619,92 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 31 416,98 € |
| **1.6** | **CLOISONS INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 14 € | 3 006,58 € | |
| | Enduit - deux faces | 75 | 2,9 | 2 | m² | 435 | 24 € | ########## | |
| | Mur brique terre cuite alveolaire 0,10 x 0,20 x 0,50 | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 66 € | ########## | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 27 824,05 € |
| | **TOTAL LOT 1** | | | | | | | | 151 467,49 € |
| **LOT 2 - OUVERTURES** | | | | | | | | | |
| **2.1** | **MENUISERIE EXTERIEURE** | | | | | | | | |
| | Fenêtre 2 fermeture a la francaise - double vitrage Ug=2,5W | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 543 € | ########## | |
| | Porte d'entrée U=1 W/Km2 | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 604 € | 1 603,53 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 48 072,12 € |
| **2.2** | **BRISE-SOLEIL EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Brise-soleil sur fenetres | 85,5 | 0 | 1 | m2 | 0 | 318 € | 0,00 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 0,00 € |
| **2.3** | **RIDEAUX INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Rideau interieur opaque derriere fenetres | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 104 € | 8 863,11 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 8 863,11 € |
| | **TOTAL LOT 2** | | | | | | | | 56 935,23 € |

## LOT3 - AGENCEMENT INTERIEUR

### 3.1 MENUISERIE INTERIEURE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| portes interieures | | 9 | 1 | 1 | u | 9 | 162 € | 1 455,60 € | | |
| placards | | 6 | 1 | 1 | u | 6 | 500 € | 3 000,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 4 455,60 € | |
| | **TOTAL LOT 3** | | | | | | | | | 4 455,60 € |

## LOT 4 - PLOMBERIE ET EAU

### 4.1 PLOMBERIE SANITAIRE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distribution eau potable en cuivre | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 41 € | 5 407,50 € | | |
| Distribution evacuation Eaux Vannes-Eaux Usees | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 23 € | 2 967,84 € | | |
| Arrivée generale Eau Potable + brachement compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 315 € | 1 315,00 € | | |
| Robinetterie | | 10 | 1 | 1 | u | 10 | 1 050 € | ########## | | |
| Sanitaires-WC | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 190 € | 570,18 € | | |
| Douche/baignoire | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 416 € | 1 246,69 € | | |
| Lavabo | | 4 | 1 | 1 | u | 4 | 426 € | 1 702,05 € | | |
| Evier cuisine | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 163 € | 163,48 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 23 872,74 € | |
| | **TOTAL LOT 4** | | | | | | | | | 23 872,74 € |

## LOT 5 - CONFORT THERMIQUE ET QUALITE DE L'AIR

### 5.1 CVC

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Climatisation : chiller + splits muraux ( 1 ensemble par etage | | 2 | 1 | 1 | u | 2 | 6 196 € | ########## | | |
| Chauffe-eau thermodynamique - Gaz | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 2 785 € | 2 785,14 € | | |
| VMC Simple flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 660 € | 659,79 € | | |
| VMC double flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| VMC distribution des gaines | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 15 836,93 € | |
| | **TOTAL LOT 5** | | | | | | | | | 15 836,93 € |

## LOT 6 - ELECTRICITE

### 6.1 ELECTRICITE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Branchements reseaux generale + compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 10 667 € | ########## | | |
| Appareillage : prises, rg45,.. | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 113 € | 2 260,00 € | | |
| Eclairage | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 103 € | 2 066,67 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 993,33 € | |
| | **TOTAL LOT 6** | | | | | | | | | 14 993,33 € |

## LOT 7 - ELECTROMENAGERS ET ACCESOIRES

### 7.1 ELECTROMENAGERS

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frigo | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 950 € | 950,00 € | | |
| Lavevaisselle | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 650 € | 650,00 € | | |
| Lavelinge | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Microondes | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 250 € | 250,00 € | | |
| Television | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Feux electriques | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 320 € | 320,00 € | | |
| Four | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 100 € | 1 100,00 € | | |
| Ordinateurs | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 3 000 € | 3 000,00 € | | |
| EXTRACTEUR 25W SOUS TOITURE RADIATIVE | | 1 | 1 | 1 | u | 3 | 600 € | 1 800,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 9 770,00 € | |
| | **TOTAL LOT 7** | | | | | | | | | 9 770,00 € |

| | | |
|---|---|---|
| Hauteur entre planchers | 3,15 | m |
| Longueur exterieure | 12,5 | m |
| Largeur exterieure | 10,5 | m |
| Epaisseur structure | 0,2 | m |
| Epaisseur Planchers portés | 0,25 | m |
| Epaisseur Dalle sur Terre pleine | 0,15 | m |
| Epaisseur isolant murs | 0,1 | m |
| Epaisseur isolant toiture | 0,2 | m |
| Epaisseur isolant sol PbRdC | 0 | m |
| Lineaire de cloisons interieurs | 75 | m |
| Surface des murs RdC | 144,9 | m² |
| Surface des murs R+1 | 144,9 | m² |
| dim. petites fenetres 1,8 | 1,5 | m |
| dim. grandes fenetres 1,8 | 2,5 | m |
| Surfaces petites | 2,7 | m² |
| Surfaces grandes | 4,5 | m² |
| Surface des fenetres NORD | 19,8 | m² |
| Surface des fenetres SUD | 15,3 | m² |
| Surface des fenetres EST | 25,2 | m² |
| Surface des fenetres OUEST | 25,2 | m² |
| **Taux d'ouverture TOTAL** | **30%** | |
| Taux d'ouverture NORD | 30% | |
| Taux d'ouverture SUD | 23% | |
| Taux d'ouverture EST | 32% | |
| Taux d'ouverture OUEST | 32% | |
| Nombre de fenetres | 27 | u |

| | |
|---|---|
| **TOTAL PROJET** | **277331,3 €H** |
| **TOTAL m2** | **223,12 m** |
| **RATIO €/m2** | **1243 €/** |
| **variation s/ Base:** | **-7316 €I** |

**MODELE : VENTILATEUR PLAFONNIER 70W x 6 UNITÉS**

| CODE | LIBELLÉ | DIM 1 | DIM2 | DIM3 | U | Q | PU | TOTAL HT | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **LOT 1 - ENVELOPPE EXTERIEUR** | | | | | | | | | |
| **1.1** | **MAÇONNERIE-FONDATIONS** | | | | | | | | |
| | Plateforme et terrassement | 12,5 | 10,5 | 1 | m² | 131 | 34 € | 4 459,88 € | |
| | Semelles filantes en béton armé | 46 | 0,5 | 0,4 | m³ | 9 | 378 € | 3 476,07 € | |
| | Murs du sous-bassement bloc beton | 46 | 0,5 | 1 | m² | 23 | 57 € | 1 304,05 € | |
| | Drain peripherique | 12,5 | 10,5 | 2 | ml | 46 | 43 € | 1 960,21 € | |
| | VRD Eaux vannes | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 863 € | 1 863,47 € | |
| | VRD Eaux usées | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 803 € | 802,95 € | |
| | VRD Eaux Pluviales | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 953 € | 952,70 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 819,33 € |
| **1.2** | **MAÇONNERIE-PLANCHER BAS DU RDC** | | | | | | | | |
| | Sable pour couche de forme | 12,5 | 10,5 | 0,2 | m³ | 26 | 16 € | 415,28 € | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 12,5 | 10,5 | 0 | m³ | 0 | 316 € | 0,00 € | |
| | Dalle béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,15 | m³ | 20 | 79 € | 1 552,06 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 13 239,13 € |
| **1.3** | **MAÇONNERIE-PLANCHER HAUT DU RDC** | | | | | | | | |
| | Peinture | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 14 € | 1 628,53 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 34 € | 3 968,55 € | |
| | Dalle portée béton armé | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m³ | 33 | 79 € | 2 586,77 € | |
| | Escalier beton | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 5 400 € | 5 400,00 € | |
| | Reagreage | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 24 € | 2 796,02 € | |
| | Carrelage y/c phinthes | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 26 € | 3 075,77 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 19 455,64 € |
| **1.4** | **MURS EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture interieure | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 14 € | 2 313,75 € | |
| | Platre enduite sur bloc beton | 5,8 | 43,6 | 1 | m² | 167 | 26 € | 4 301,67 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,10 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 54 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.100mm R=2,85 | 6,3 | 44,4 | 0,1 | m³ | 19 | 316 € | 6 144,66 € | |
| | Mur bloc beton creux 0,20 x 0,20 x 0,50 | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 57 € | ########## | |
| | Rupteur Pont Thermique XPS ép.100mm R=2,86 | 0 | 44,4 | 2 | ml | 0 | 100 € | 0,00 € | |
| | Pare-vapeur ( en climat chaud ext isolation ) | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 24 € | 4 705,95 € | |
| | Enduit exterieur etanche | 6,3 | 44,4 | 1 | m² | 194 | 30 € | 5 836,31 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 44 712,37 € |
| **1.5** | **TOITURE** | | | | | | | | |
| | Peinture plafond | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 40 € | 9 424,80 € | |
| | Faux plafond en platre | 11,9 | 9,9 | 2 | m² | 236 | 26 € | 6 151,53 € | |
| | Plancher porté en béton ep:20cm | 12,5 | 10,5 | 0,25 | m² | 33 | 378 € | ########## | |
| | Isolant polystyrène extrudé 0,60x2,50m ép.200mm R=5,7 | 11,9 | 9,9 | 0,2 | m³ | 24 | 316 € | 7 454,45 € | |
| | Étanchéité toiture bitumineuse | 11,9 | 9,9 | 1 | m² | 118 | 38 € | 4 485,03 € | |
| | Chape de protection de l'etancheité | 11,9 | 9,9 | 0,1 | m³ | 12 | 53 € | 619,92 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 40 533,39 € |
| **1.6** | **CLOISONS INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Peinture | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 14 € | 3 006,58 € | |
| | Enduit - deux faces | 75 | 2,9 | 2 | m² | 435 | 24 € | ########## | |
| | Mur brique terre cuite alveolaire 0,10 x 0,20 x 0,50 | 75 | 2,9 | 1 | m² | 218 | 66 € | ########## | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 27 824,05 € |
| | **TOTAL LOT 1** | | | | | | | | 160 583,90 € |
| **LOT 2 - OUVERTURES** | | | | | | | | | |
| **2.1** | **MENUISERIE EXTERIEURE** | | | | | | | | |
| | Fenêtre 2 fermeture a la francaise - double vitrage Ug=2,5W | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 543 € | ########## | |
| | Porte d'entrée U=1 W/Km2 | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 604 € | 1 603,53 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 48 072,12 € |
| **2.2** | **BRISE-SOLEIL EXTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Brise-soleil sur fenetres | 85,5 | 0 | 1 | m2 | 0 | 318 € | 0,00 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 0,00 € |
| **2.3** | **RIDEAUX INTERIEURS** | | | | | | | | |
| | Rideau interieur opaque derriere fenetres | 85,5 | 1 | 1 | m2 | 86 | 104 € | 8 863,11 € | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 8 863,11 € |
| | **TOTAL LOT 2** | | | | | | | | 56 935,23 € |

## LOT3 - AGENCEMENT INTERIEUR

### 3.1 MENUISERIE INTERIEURE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| portes interieures | | 9 | 1 | 1 | u | 9 | 162 € | 1 455,60 € | | |
| placards | | 6 | 1 | 1 | u | 6 | 500 € | 3 000,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 4 455,60 € | |
| | **TOTAL LOT 3** | | | | | | | | | 4 455,60 € |

## LOT 4 - PLOMBERIE ET EAU

### 4.1 PLOMBERIE SANITAIRE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distribution eau potable en cuivre | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 41 € | 5 407,50 € | | |
| Distribution evacuation Eaux Vannes-Eaux Usees | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 23 € | 2 967,84 € | | |
| Arrivée generale Eau Potable + brachement compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 1 315 € | 1 315,00 € | | |
| Robinetterie | | 10 | 1 | 1 | u | 10 | 1 050 € | ########## | | |
| Sanitaires-WC | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 190 € | 570,18 € | | |
| Douche/baignoire | | 3 | 1 | 1 | u | 3 | 416 € | 1 246,69 € | | |
| Lavabo | | 4 | 1 | 1 | u | 4 | 426 € | 1 702,05 € | | |
| Evier cuisine | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 163 € | 163,48 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 23 872,74 € | |
| | **TOTAL LOT 4** | | | | | | | | | 23 872,74 € |

## LOT 5 - CONFORT THERMIQUE ET QUALITE DE L'AIR

### 5.1 CVC

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Climatisation : chiller + splits muraux ( 1 ensemble par etage | | 2 | 1 | 1 | u | 2 | 6 196 € | ########## | | |
| Chauffe-eau thermodynamique - Gaz | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 2 785 € | 2 785,14 € | | |
| VMC Simple flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 660 € | 659,79 € | | |
| VMC double flux | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 0 € | 0,00 € | | |
| VMC distribution des gaines | | 12,5 | 10,5 | 1 | m2 | 131 | 0 € | 0,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 15 836,93 € | |
| | **TOTAL LOT 5** | | | | | | | | | 15 836,93 € |

## LOT 6 - ELECTRICITE

### 6.1 ELECTRICITE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Branchements reseaux generale + compteur | | 1 | 1 | 1 | ens | 1 | 10 667 € | ########## | | |
| Appareillage : prises, rg45,.. | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 113 € | 2 260,00 € | | |
| Eclairage | | 20 | 1 | 1 | u | 20 | 103 € | 2 066,67 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 14 993,33 € | |
| | **TOTAL LOT 6** | | | | | | | | | 14 993,33 € |

## LOT 7 - ELECTROMENAGERS ET ACCESOIRES

### 7.1 ELECTROMENAGERS

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frigo | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 950 € | 950,00 € | | |
| Lavevaisselle | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 650 € | 650,00 € | | |
| Lavelinge | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Microondes | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 250 € | 250,00 € | | |
| Television | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 850 € | 850,00 € | | |
| Feux electriques | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 320 € | 320,00 € | | |
| Four | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 1 100 € | 1 100,00 € | | |
| Ordinateurs | | 1 | 1 | 1 | u | 1 | 3 000 € | 3 000,00 € | | |
| AUTRE : - | | 1 | 1 | 1 | u | 6 | 520 € | 3 120,00 € | | |
| | **SOUS-TOTAL** | | | | | | | | 11 090,00 € | |
| | **TOTAL LOT 7** | | | | | | | | | 11 090,00 € |

| | | |
|---|---|---|
| Hauteur entre planchers | 3,15 | m |
| Longueur exterieure | 12,5 | m |
| Largeur exterieure | 10,5 | m |
| Epaisseur structure | 0,2 | m |
| Epaisseur Planchers portés | 0,25 | m |
| Epaisseur Dalle sur Terre pleine | 0,15 | m |
| Epaisseur isolant murs | 0,1 | m |
| Epaisseur isolant toiture | 0,2 | m |
| Epaisseur isolant sol PbRdC | 0 | m |
| Lineaire de cloisons interieurs | 75 | m |
| Surface des murs RdC | 144,9 | m² |
| Surface des murs R+1 | 144,9 | m² |
| dim. petites fenetres 1,8 | 1,5 | m |
| dim. grandes fenetres 1,8 | 2,5 | m |
| Surfaces petites | 2,7 | m² |
| Surfaces grandes | 4,5 | m² |
| Surface des fenetres NORD | 19,8 | m² |
| Surface des fenetres SUD | 15,3 | m² |
| Surface des fenetres EST | 25,2 | m² |
| Surface des fenetres OUEST | 25,2 | m² |
| **Taux d'ouverture TOTAL** | **30%** | |
| Taux d'ouverture NORD | 30% | |
| Taux d'ouverture SUD | 23% | |
| Taux d'ouverture EST | 32% | |
| Taux d'ouverture OUEST | 32% | |
| Nombre de fenetres | 27 | u |

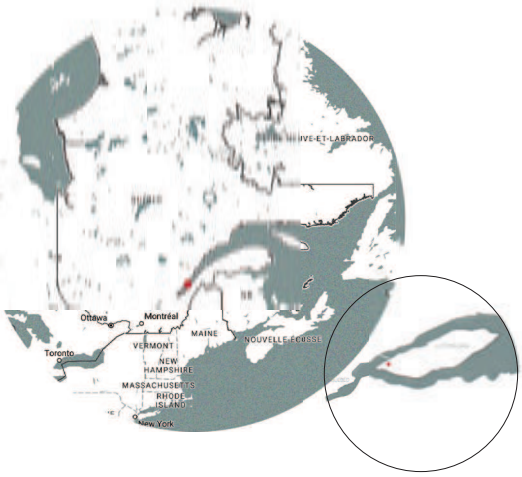
| | |
|---|---|
| **TOTAL PROJET** | **287767,7 €H** |
| **TOTAL m2** | **223,12 m** |
| **RATIO €/m2** | **1290 €/** |
| **variation s/ Base:** | **3120 €I** |

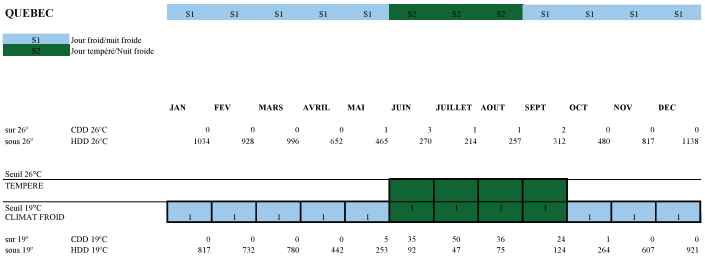
# Annexe 6
## Travail des étudiants du Master 1 ENSAPBX 2017-2018

Dans le cadre de mon activité d'enseignant à l'école nationale supérieure d'architecture et de paysage de Bordeaux, dans le champ STA ( sciences et techniques pour l'architecture), j'ai en charge la responsabilité pédagogique d'un atelier avec une centaine d'étudiants de 1er année de Master en architecture et la coordination des collègues enseignants experts en architecture bioclimatique. Le programme de cette unité d'enseignement est de réaliser un projet en orientant les choix de conception vers un projet bioclimatique. Les étudiants doivent dans un projet très simple de maison individuelle, proposer une conception bioclimatique à haute performance énergétique. Le choix des emplacement se portent au choix des étudiants sur des sites autour de toute la Planète, climats chauds, froids, humides ...

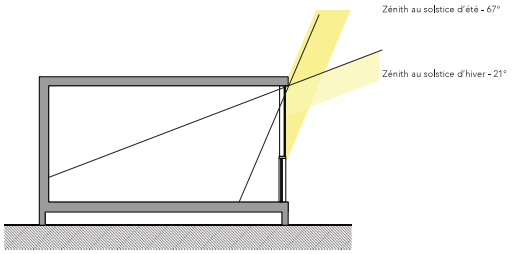
Nous montrons ci suivant deux extraits types de plusieurs dossiers des étudiants : en haut la page qui montre l'analyse qu'ils ont fait des saisons climatiques et en bas la proposition résultante de l'enveloppe proposée avec les stratégies bioclimatiques implicites ou explicites. Les résultats montrent la facile appropriation de la méthode par les étudiants et les résultats satisfaisants en termes de stratégie bioclimatique. Nous mêmes, L'équipe enseignante, avons apprécié le fait de mieux comprendre l'origine de la stratégie bioclimatique et nous avons devenus très demandeurs de cette première donnée, le diagramme des saisons climatiques pondérées, comme élément fondateur du projet d'architecture.

Lieu d'implantation: CANADA - Ile d'Orléans

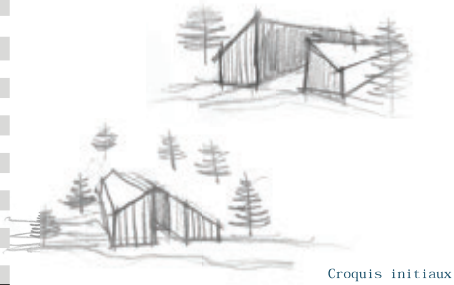



Températures moyennes




| Mois | Bordeaux | | | Québec | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Températures moyennes | Heures | Humidité | Températures moyennes | Heures | Humidité |
| | min/max | d'ensoleillement | % | min/max | d'ensoleillement | % |
| Janvier | 3°C/10°C | 86 | 83 | −16°C/−6°C | 102 | 72 |
| Février | 3°C/11°C | 109 | 81 | −14°C/−5°C | 124 | 72 |
| Mars | 5°C/15°C | 162 | 73 | −8°C/−1°C | 159 | 74 |
| Avril | 7°C/17°C | 190 | 72 | −1°C/9°C | 173 | 74 |
| Mai | 11°C/21°C | 211 | 71 | 6°C/17°C | 230 | 74 |
| Juin | 14°C/24°C | 242 | 69 | 11°C/22°C | 246 | 79 |
| Juillet | 25°C/26°C | 276 | 71 | 14°C/26°C | 274 | 83 |
| Aout | 15°C/27°C | 249 | 71 | 12°C/24°C | 240 | 84 |
| Septembre | 13°C/24°C | 207 | 73 | 8°C/19°C | 174 | 85 |
| Octobre | 10°C/19°C | 165 | 81 | 3°C/12°C | 140 | 81 |
| Novembre | 6°C/13°C | 103 | 86 | −3°C/4°C | 86 | 80 |
| Décembre | 3°C/10°C | 83 | 85 | −12°C/−4°C | 80 | 77 |



Croquis initiaux

# STRUCTURE ET CONFORT

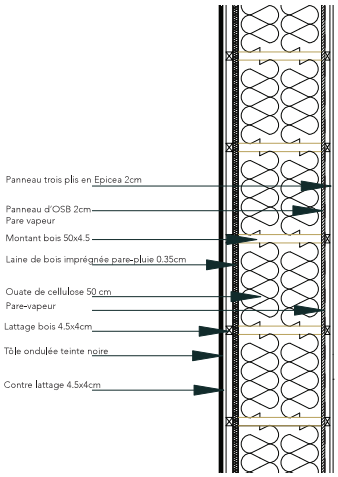
### Confort thermique/hygrométrique

L'enveloppe est isolée en quantité à partir de matériaux sains car élaborés à l'aide de matériaux recyclés et non traités: ouate de cellulose (50cm) et complément en fibre de bois (3.5cm).
Les équipements liés aux fluides sont rassemblés dans la partie centrale de la maison, dans les parties communes (chauffage, ventilation, ballon d'eau chaude) de manière à mieux répartir la diffusion et diminuer les linéaires de distribution. Une VMC double flux au cœur du volume permet de ventiler très simplement l'ensemble des pièces. Nous avons opté pour une ventilation double permettant une température de soufflage plus proche de la température de confort voulue. L'air entrant est donc plus chaud que la simple flux, le confort intérieur est alors augmenté donc meilleur. Cela permet aussi une économie non négligeable sur la consommation de chauffage. Ce dernier est assuré par un poêle à granulés bois. Les grilles de VCM sont placées dans les pièces humides: la salle de bain/WC ainsi que la cuisine.
L'inertie thermique de l'espace habité est renforcée par la chape béton au niveau du plancher.

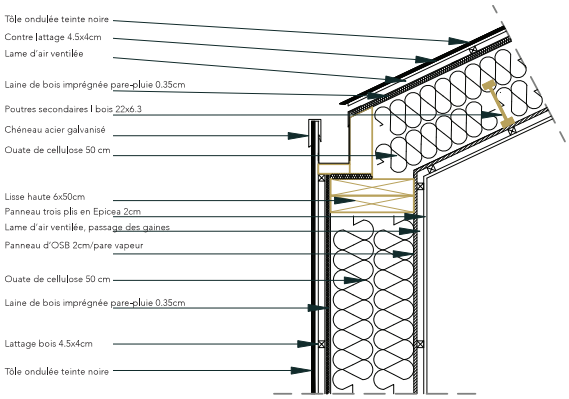
Pour assurer un confort hygrométrique, nous avons pensé à placer l'OSB sur les faces intérieures de notre maison limitant ainsi la condensation dans le bâtiment.
La longrine béton surélevant l'ensemble permet d'éviter le contact direct avec le sol pouvant être plus froid que l'air et humide. Le fait d'avoir mis une longrine périphérique nous permet aussi d'éviter les courants d'air sous le plancher (tout en la ventilant).

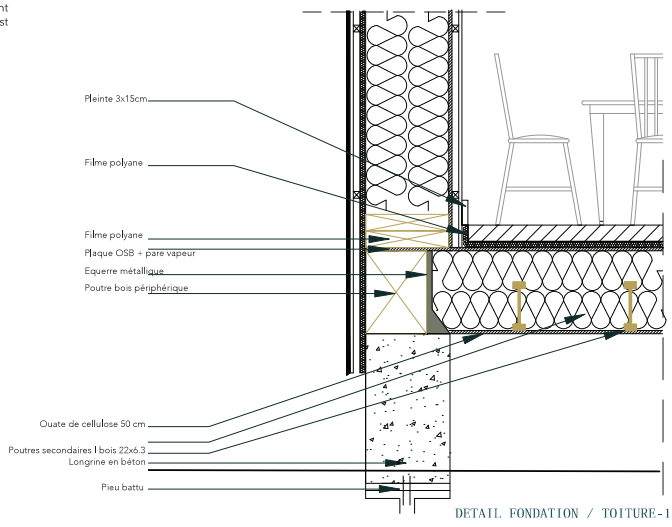
### Confort acoustique

Afin d'améliorer le confort acoustique de la maison, nous avons choisi de désolidariser la chape sèche du reste de la structure. Nous venons placer des panneaux de fibre de bois au niveau du plancher considérés comme isolant rigide et acoustique. Cette solution permet d'éviter toute transmission sonore par le biais du solivage. Ceci est complété par le choix des isolants choisis possédant de très bonnes qualités acoustiques. (cf: coupe)




DETAIL MUR- 1/20ème

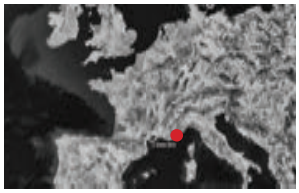


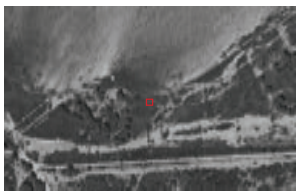




DETAIL FONDATION / TOITURE-1/20ème

# Le site

La Grande-Motte, Hérault (34), France
Climat méditerrannéen ou tempéré chaud





PLANS DE SITUATION

PLAN MASSE

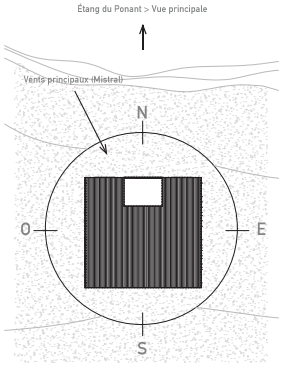
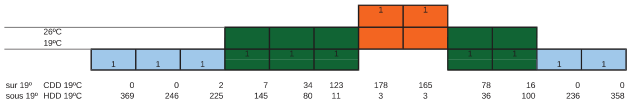



TABLEAU DES T°

| Mois | Température moyenne | Température moyenne min/max | Record des températures min/max | Précipitation | Nombre de jour avec de la pluie |
|---|---|---|---|---|---|
| Janvier | 7 | 3 / 12 | -12 / 21 | 60 | 10 |
| Février | 8 | 3 / 13 | -9 / 23 | 45 | 8 |
| Mars | 11 | 6 / 16 | -6 / 27 | 44 | 9 |
| Avril | 13 | 8 / 18 | -1 / 30 | 54 | 10 |
| Mai | 17 | 12 / 22 | 3 / 35 | 43 | 10 |
| Juin | 21 | 16 / 26 | 6 / 37 | 30 | 7 |
| Juillet | 24 | 18 / 29 | 10 / 38 | 18 | 5 |
| Août | 24 | 18 / 29 | 10 / 36 | 32 | 6 |
| Septembre | 20 | 15 / 25 | 4 / 36 | 57 | 7 |
| Octobre | 16 | 11 / 20 | 0 / 32 | 94 | 11 |
| Novembre | 11 | 7 / 15 | -5 / 25 | 60 | 10 |
| Décembre | 8 | 4 / 12 | -7 / 21 | 61 | 10 |

S1 Jour froid / Nuit froide
S2 Jour tempéré / Nuit froide
S3 Jour tempéré / Nuit tempérée
S4 Jour chaud/ Nuit froide
S5 Jour chaud/ Nuit tempérée
S6 Jour chaud/ Nuit chaude

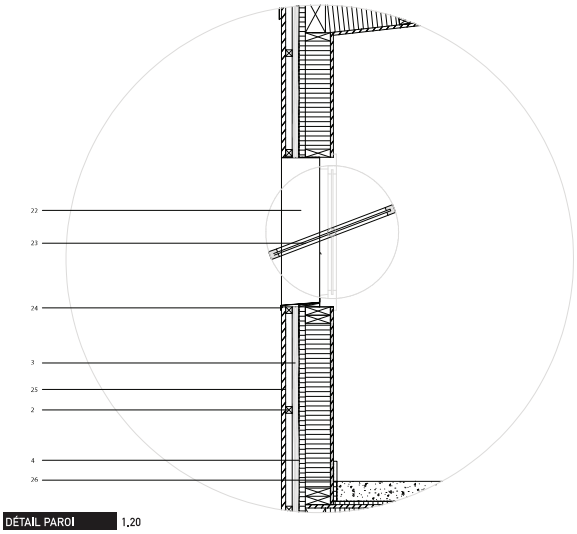
| LA GRANDE MOTTE | JAN | FEV | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DEC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| sur 26º CDD 26ºC | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 15 | 31 | 26 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| sous 26º HDD 26ºC | 586 | 445 | 440 | 348 | 266 | 112 | 72 | 80 | 177 | 301 | 446 | 575 |



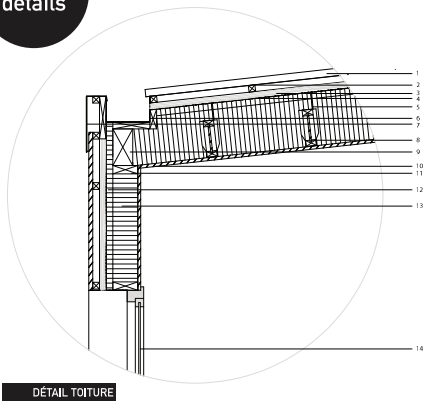

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| sur 19º CDD 19ºC | 0 | 0 | 2 | 7 | 34 | 123 | 178 | 165 | 78 | 16 | 0 | 0 |
| sous 19º HDD 19ºC | 369 | 246 | 225 | 145 | 80 | 11 | 3 | 3 | 36 | 100 | 236 | 358 |

# Les détails

COUPE 2

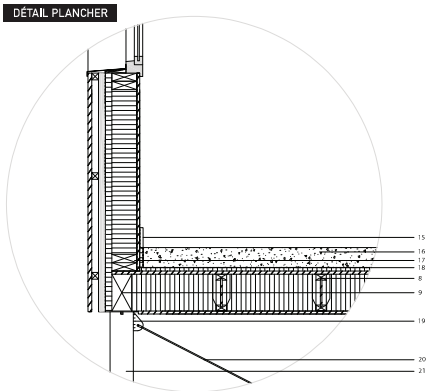


DÉTAIL PAROI 1,20



1,20 DÉTAIL TOITURE

1,20 DÉTAIL PLANCHER



1 Bac acier
2 Lattage
3 Contre lattage
4 Pare pluie
5 Connecteur métallique
6 Chéneau acier galvanisé
7 Finition aluminium
8 Poutre secondaire en I
9 Poutre principale 220x120mm
10 Panneau OSB 18mm
11 Lisse haute
12 Panneau de fibre de bois
13 Ouate de cellulose
14 Double vitrage 4/16/4
15 Plinte
16 Chappe sèche 120mm
17 Lisse basse
18 Polyane
19 Platine métallique
20 Cable acier
21 Tube creux acier
22 Habillage tableau aluminium
23 Fenêtre à bascule
24 Bavette
25 Bardage pin
26 Pare vapeur

# CANADA-MONTREAL

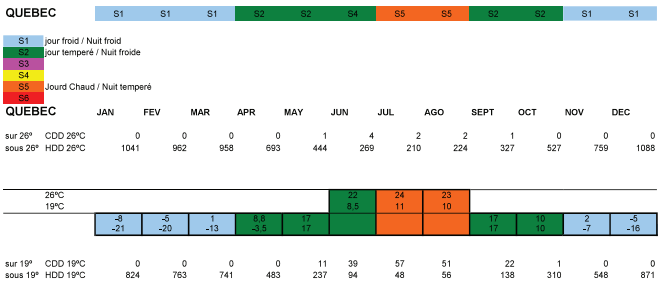
## IMPLANTATION

La maison s'implante en bordure de la rue à la même distance que ses voisins. Sur la parcelle, des arbres devraient être ajoutés au nord pour freiner le plus possible le vent Nordet.

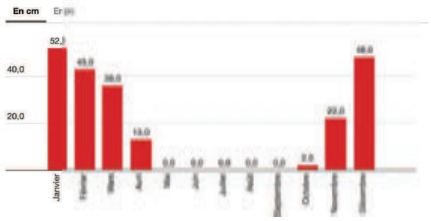
## CLIMAT

Continental humide avec un été tempéré. Températures allant de 26° jusqu'à -25°C.
Comme les chutes de neige sont très importantes dans cette région, il était primordial de les prendre en compte. Pour faciliter l'écoulement de celle-ci et ainsi éviter la surcharge, le toit sera en pente avec un débord de toiture par rapport aux murs de 40 cm.

PONDERATION DES SAISONS CLIMATIQUES




CHUTES DE NEIGE



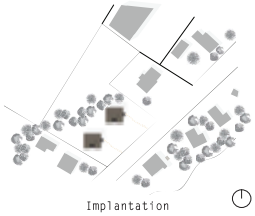

## ORIENTATION

La maison est orientée vers le sud pour profiter à la fois du parcours du soleil et de la vue sur le fleuve St-Laurent. La maison tourne ainsi le dos aux puissants vents du nord.

Canada - Quebec

Montréal

Fleuve St-Laurent

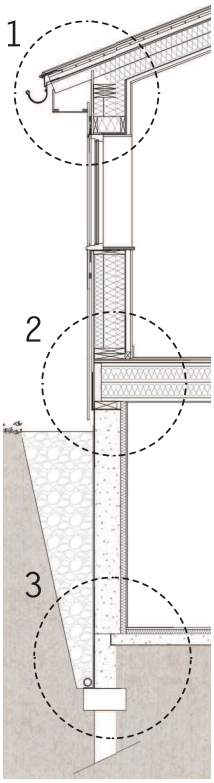

Implantation

1/11



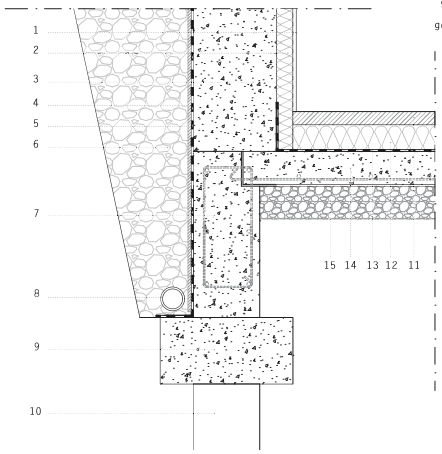
# STRUCTURE

## STRUCTURE FONDATIONS / PLANCHER / MUR



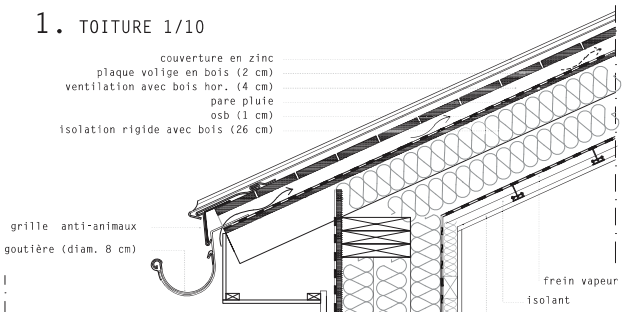

*Détails de la cheminée et de la fenêtre en annexe 4

### 3. FONDATIONS 1/10

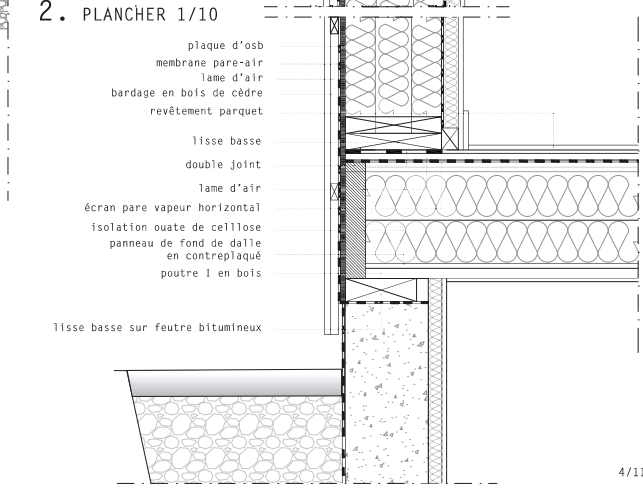



1. Plaque de gypse recyclé (1,5 cm)
2. Isolation ouate de cellulose (7 cm)
3. Mur en béton armé (20 cm)
4. Membrane pare pluie
5. Membrane drainante
6. Gravier
7. Longrine (20x50 cm)
8. Drain
9. Tête des pieux
10. Micropieux
11. Chape béton (5 cm)
12. Isolation ouate de cellulose (7 cm)
13. Pare vapeur
14. Dalle béton (10 cm)
15. Gravier

### 1. TOITURE 1/10



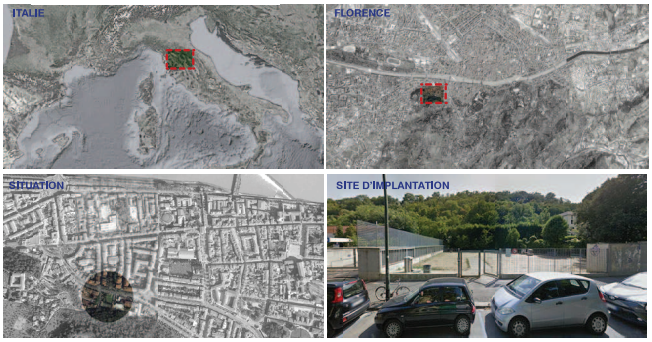

### 2. PLANCHER 1/10

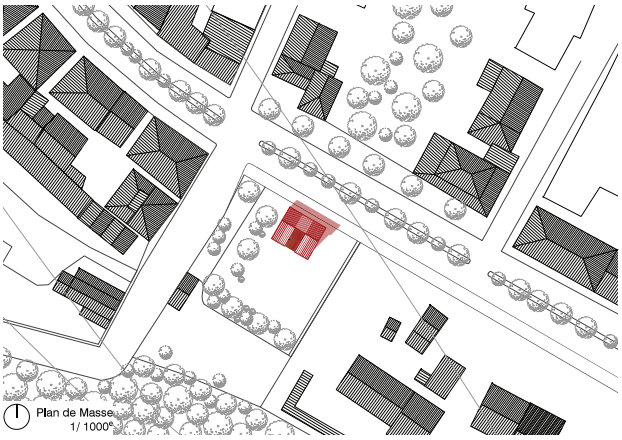



4/11

# PROJET

**Florence, Italie**
**Climat Köppen : Csa Tempéré Chaud**

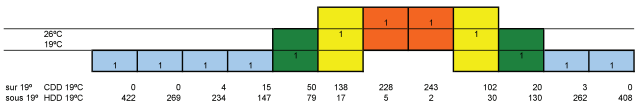



**Climat annuel :**

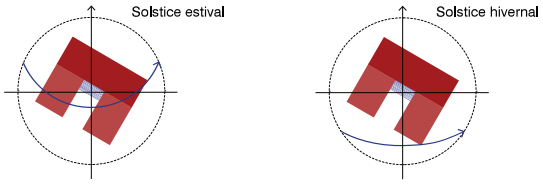
Le climat annuel est plutôt tempéré, avec en moyenne 8,3°C sur la période des 6 mois les plus froids et de 20,45°C pour les 6 mois les plus chauds. L'idée serait donc d'avoir un système de chauffage pour l'hiver et pour l'été, de laisser la ventilation naturelle et les protections solaires agir pour le raffraichissement de la maison.

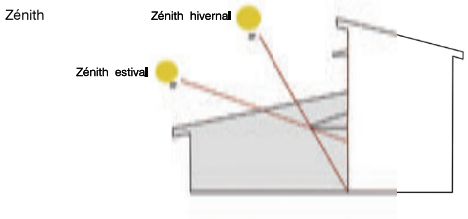
| FLORENCE | JAN | FEV | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DEC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| sur 26º CDD 26ºC | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 32 | 73 | 81 | 18 | 0 | 0 | 0 |
| sous 26º HDD 26ºC | 639 | 469 | 446 | 342 | 250 | 120 | 67 | 58 | 156 | 327 | 471 | 625 |
| sur 19º CDD 19ºC | 0 | 0 | 4 | 15 | 50 | 138 | 228 | 243 | 102 | 20 | 3 | 0 |
| sous 19º HDD 19ºC | 422 | 269 | 234 | 147 | 79 | 17 | 5 | 2 | 30 | 130 | 262 | 408 |




| | NON PONDERE | PONDERE | SOMME DD | JAN | FEV | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DEC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | DD | DD | DD | DD | DD | DD | DD | DD | DD | DD | DD | DD |
| S6 | 0,0% | 0,0% | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S5 | 16,7% | 7,3% | 161 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 78 | 83 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S4 | 16,7% | 4,4% | 97 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 49 | 0 | 0 | 48 | 0 | 0 | 0 |
| S3 | 0,0% | 0,0% | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S2 | 16,7% | 9,7% | 214 | 0 | 0 | 0 | 0 | 84 | 0 | 0 | 0 | 0 | 130 | 0 | 0 |
| S1 | 50,0% | 78,7% | 1742 | 422 | 269 | 234 | 147 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 262 | 408 |

**Ensoleillement**

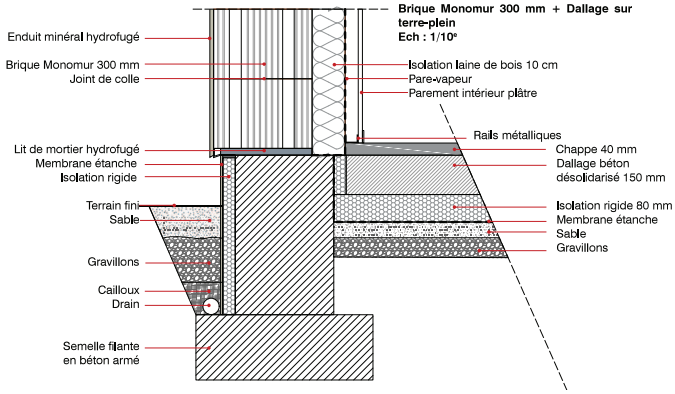


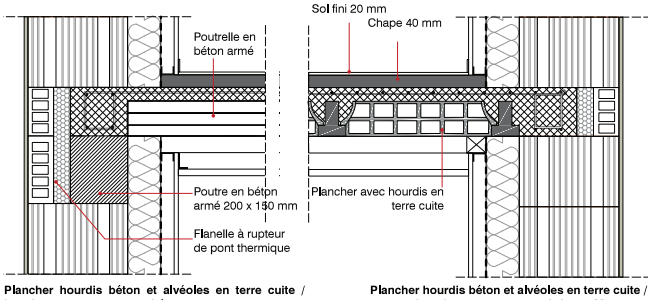



# STRUCTURE

**Détail de la jonction entre la fondation et le plancher bas**



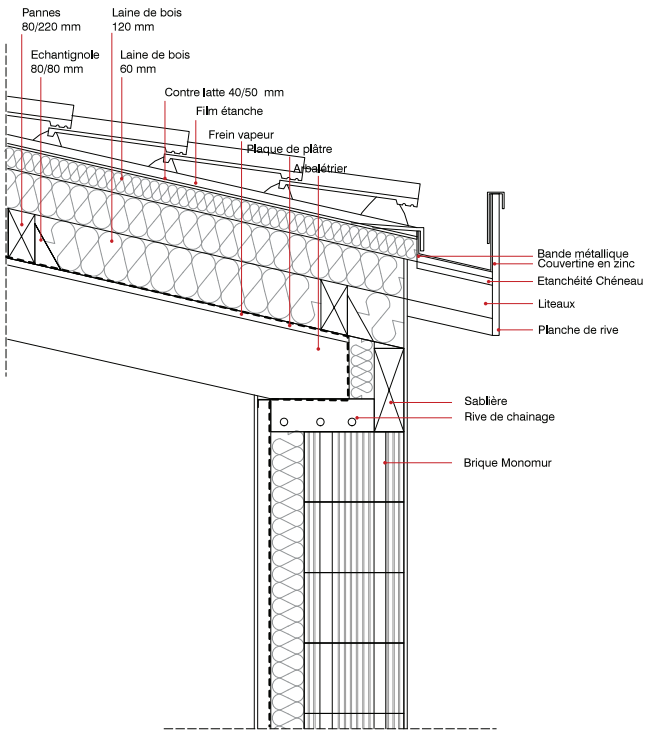

**Détail de la jonction entre les murs périphériques et le plancher intermédiaire**




**Plancher hourdis béton et alvéoles en terre cuite / jonction avec la poutre en béton**
**Ech : 1/10e**

**Plancher hourdis béton et alvéoles en terre cuite / jonction avec le mur en briques Monomur**
**Ech : 1/10e**

**Détail de la jonction entre les murs périphériques et la toiture**




**Tuiles canales et chéneau encastré, reposant sur le mur périphérique en briques Monomur 300 mm**
**Ech : 1/10e**

| LAROQUE GAGEAC | | S1 | S1 | S1 | S2 | S2 | S4 | S4 | S4 | S2 | S2 | S1 | S1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 10 % | 20 % | 30 % | 40 % | 50 % | 60 % | 70 % | 80 % | 90 % | 100 % | | |
| S1 | | | | | | | | | | | | | |
| S2 | | | | | | | | | | | | | |
| S3 | | | | | | | | | | | | | |
| S4 | | | | | | | | | | | | | |
| S5 | | | | | | | | | | | | | |
| S6 | | | | | | | | | | | | | |

| LAROQUE GAGEAC | | JAN | FEV | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DEC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| sur 26° | CDD 26°C | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 20 | 24 | 33 | 10 | 0 | 0 | 0 |
| sous 26° | HDD 26°C | 672 | 525 | 516 | 441 | 318 | 191 | 161 | 172 | 275 | 423 | 550 | 673 |
| | 26°C | | | | | | 1 | 1 | 1 | | | | |
| | 19°C | | | | | | | | | | | | |
| | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| sur 19° | CDD 19°C | 0 | 0 | 4 | 10 | 37 | 88 | 113 | 124 | 51 | 11 | 0 | 0 |
| sous 19° | HDD 19°C | 455 | 325 | 302 | 241 | 132 | 49 | 33 | 47 | 106 | 217 | 340 | 456 |

| | NON PONDERE | PONDERE | SOMME DD | JAN | FEV | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DEC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | DD | DD | DD | DD | DD | DD | DD | DD | DD | DD | DD | DD |
| S6 | 0,0 % | 0,0 % | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S5 | 0,0 % | 0,0 % | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S4 | 25,0 % | 7,4 % | 206 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 69 | 57 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S3 | 0,0 % | 0,0 % | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S2 | 33,3 % | 25,5 % | 712 | 0 | 0 | 0 | 241 | 138 | 0 | 0 | 0 | 116 | 217 | 0 | 0 |
| S1 | 41,7 % | 67,2 % | 1878 | 455 | 325 | 302 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 340 | 456 | |

Données climatiques (2016)

| | | janvier | février | mars | avril | mai | juin | juillet | août | septembre | octobre | novembre | décembre | ANNEE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Température | *T° max moyennes* | 10,3 | 10,9 | 13 | 16,3 | 20,1 | 23,2 | 27,8 | 29,4 | 26,4 | 18,4 | 12,7 | 11,3 | 18,3 |
| | *T° moyennes* | 7,1 | 7,3 | 7,8 | 11,1 | 14,6 | 18,1 | 20,9 | 21,7 | 19,3 | 12,8 | 9,2 | 6,6 | 13 |
| | *T° mini moyennes* | 3,9 | 3,7 | 2,7 | 6,0 | 9,1 | 13,0 | 14,0 | 14,0 | 12,2 | 7,3 | 5,7 | 2,1 | 7,8 |
| DJU (K) | *chauffe* | 309,4 | 311,4 | 317,8 | 211,4 | 127,9 | 55,6 | 34,7 | 32,3 | 55 | 170 | 366,3 | 252,8 | 2274,6 moy : 190 |
| | *réfrigération* | | | 1,3 | 4,8 | 22,1 | 54,7 | 124,2 | 147,9 | 94,4 | 7,5 | 0,7 | | 460,6 moy : 38 |
| Ensoleillement (heures) | | 62,7 | 78,3 | 131,2 | 151,5 | 201,3 | 183,2 | 289,6 | 302,7 | 221,2 | 153,2 | 83,8 | 141,9 | 2000,45 moy : 167 |
| Précipitations (mL) | | 154,3 | 91,7 | 103,4 | 132,4 | 134,4 | 52,9 | 7,8 | 6,6 | 38,8 | 34,5 | 67,2 | 7,6 | 831,6 |
| Vent | *direction* | SSE | NO | SSE | SE | SE | SE | SE | SE | SS | NO | NO | NNO | SE |
| | *vitesse moyette (kts)* | 6 | 6 | 7 | 6 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 6 | 5 | 5 | 5 |

# L'ENVELOPPE

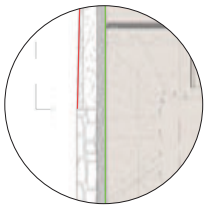
PLANS COMPLEXES MURS :
- pare vapeur
- pare pluie

R+1 RUE

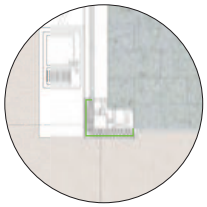
RDC JARDIN

Les murs moellons ne possèdent pas de pare pluie car ils sont traités avec un enduit à la chaux .

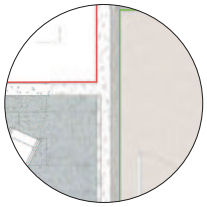
SHCÉMAS DE LIAISONS :



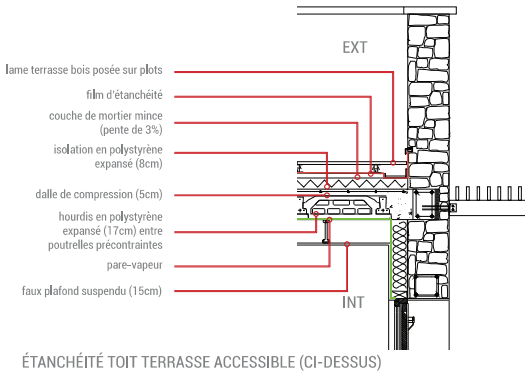
mur de soutainement et mur moellon isolé .



Poteau béton armé (20 x 20cm) , parement pierre en moellon et complexe isolant et ba 13 sur rails.

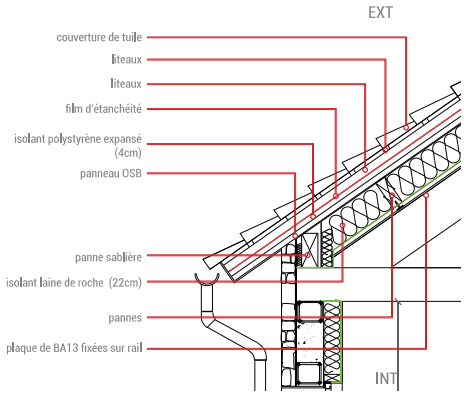


mur de soutainement en béton armé brut et béton armé isolé




ÉTANCHÉITÉ TOIT TERRASSE ACCESSIBLE (CI-DESSUS)

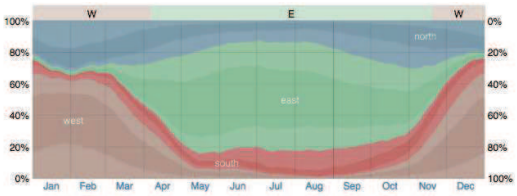
ÉTANCHÉITÉ TOITURE DOUBLE PENTE (CI-DESSOUS)



## 2 STRATÉGIE D'IMPLANTATION

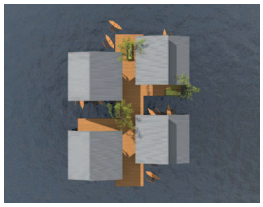
PLAN DE SITUATION

VUE AÉRIENNE



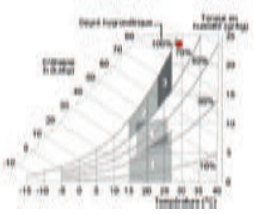

COURBE DES VENTS

SIMULATION DE DENSIFICATION

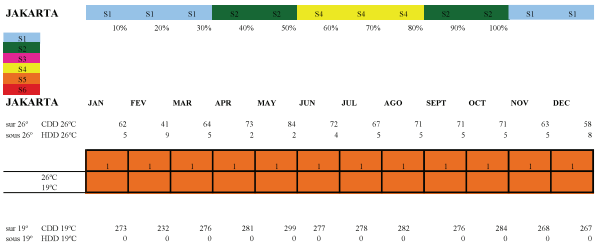


PLAN MASSE

TEMPÉRATURE RESSENTIS

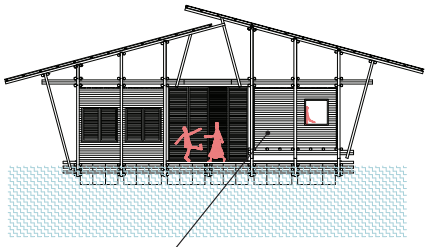


DEGRE HYGROMETRIQUE

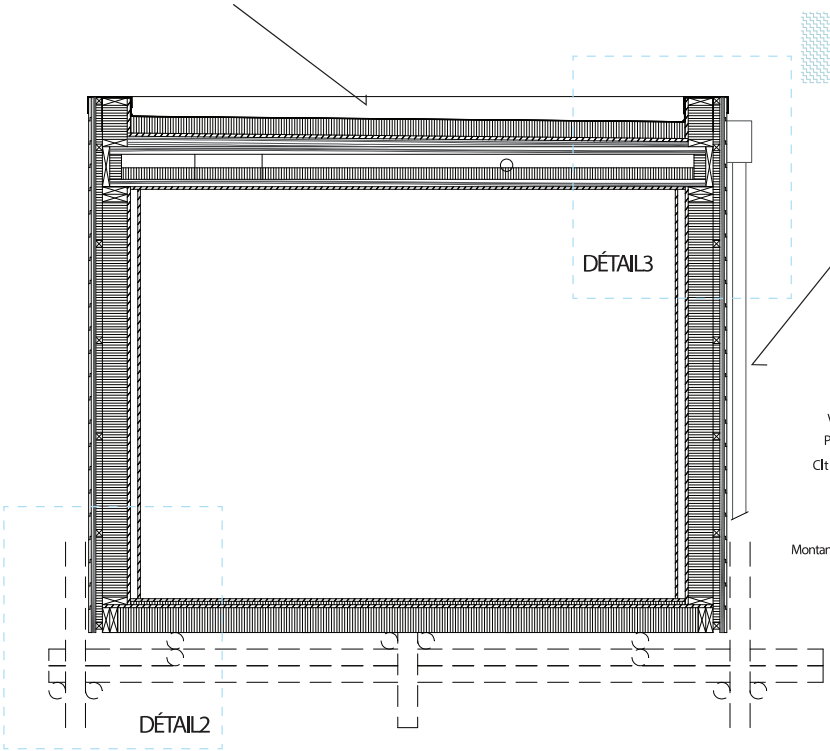


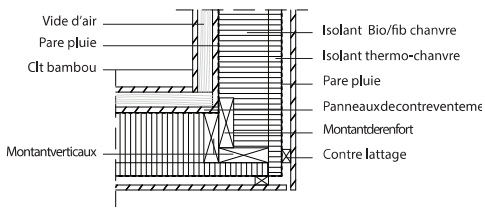

## 8 STRUCTURE

Toiture terrasse protégée par le grand couvert
Pente à 1 %, revêtement en EPDM



FAÇADE SUD

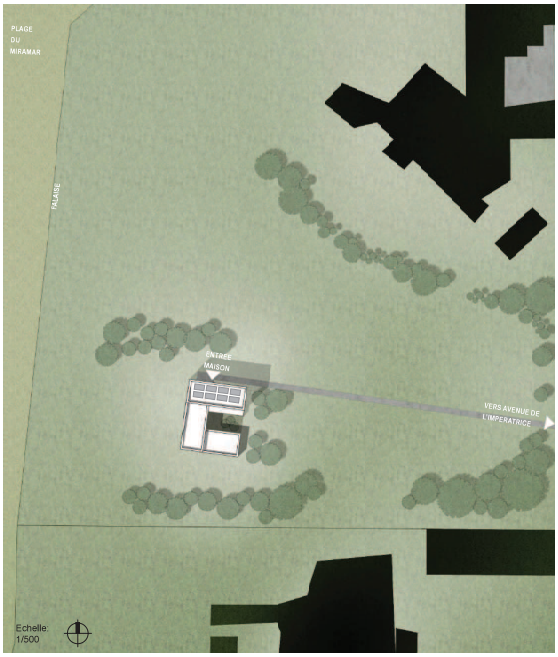



DÉTAIL1
JONCTION MUR / MUR

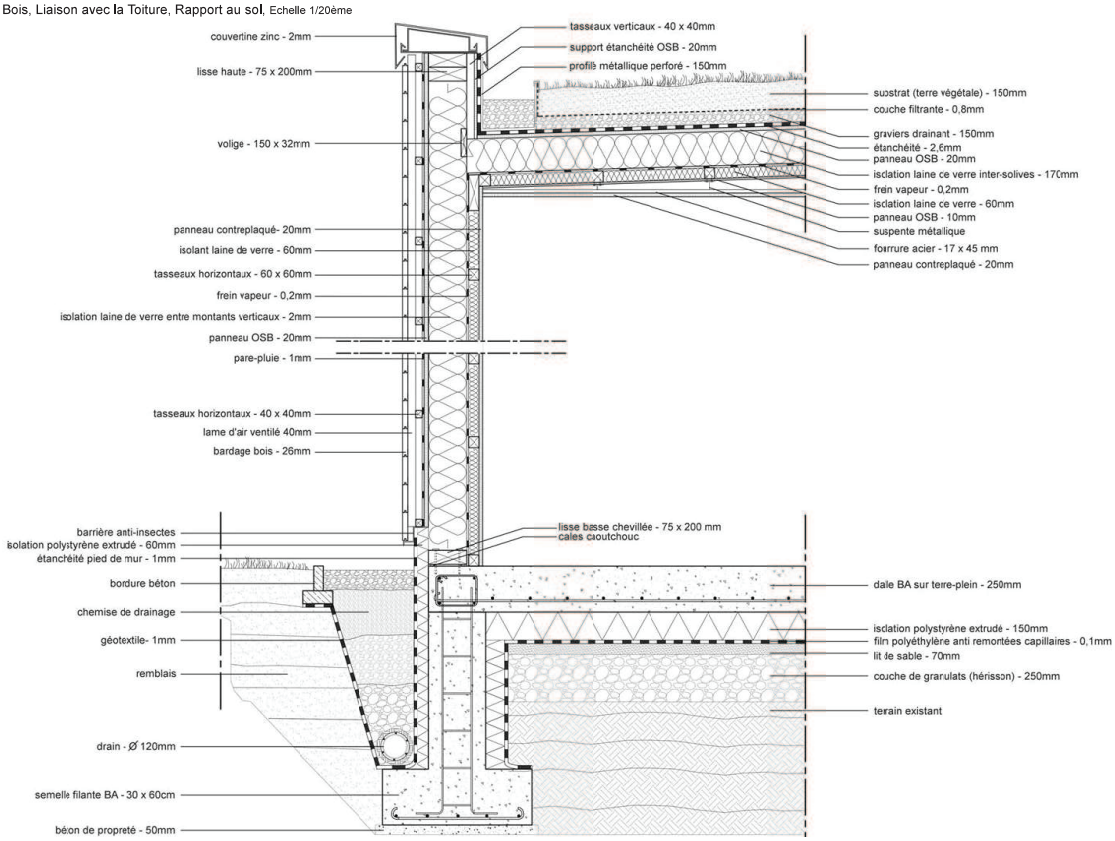
Biarritz, France
Climat: Tempéré, océanique

Plan masse du projet



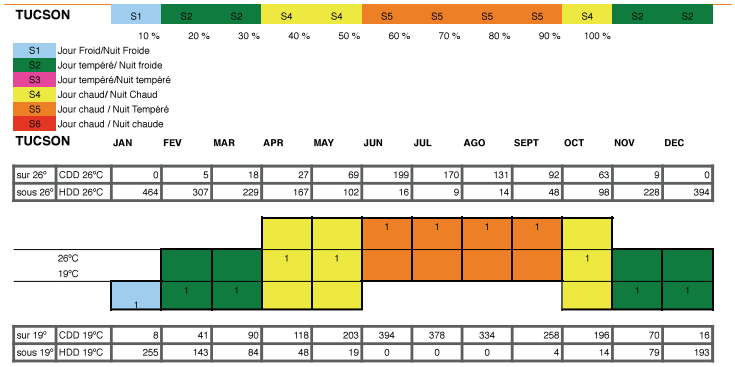
CONCEPTION DETAILLEE DE LA CONSTITUTION DE L'ENVELOPPE

Coupe Murs Bois, Liaison avec la Toiture, Rapport au sol, Echelle 1/20ème

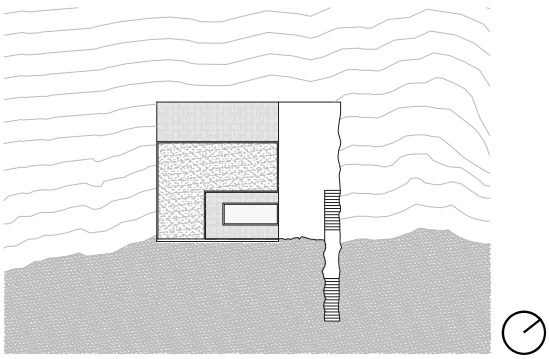


# Projet

Site : TUCSON
Climat : Steppe (Chaud et sec)

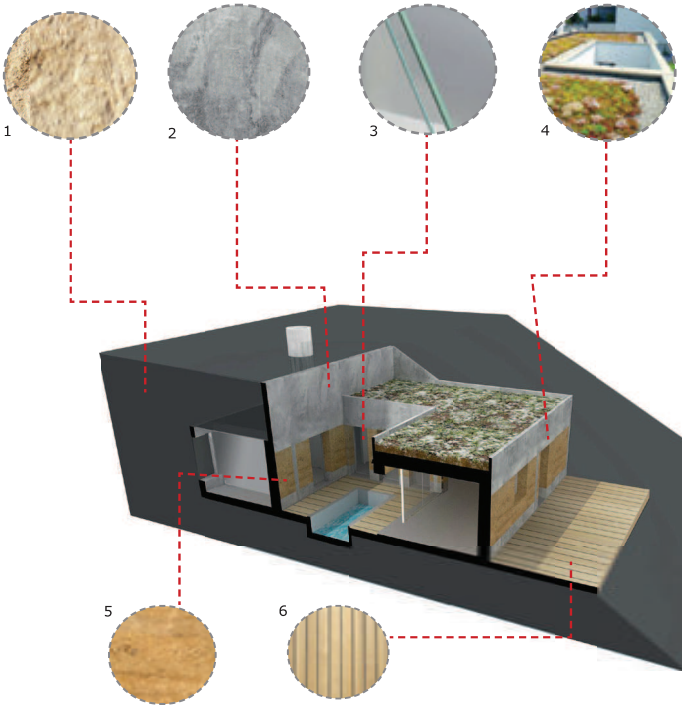



Doc 1

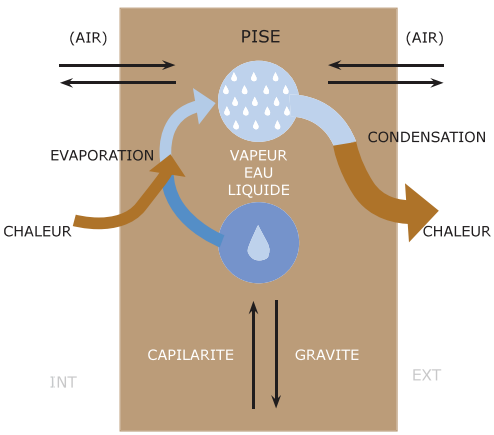


# Enveloppe Descriptif Matériaux

1.ROCHE CALCAIRE
2.BETON
3.DOUBLE VITRAGE
4.TOITURE VEGETAILISEE
5.TERRE PISEE
6.CAIBOTIS BOIS




-Résistance à la compression: 2,40N/mm2
-Résistance à la flexion: 0,52N/mm2
-Résistance au cisaillement:0,62N/mm2
-Rq : L'ajout de fibres, de lin ou de paille améliore ces valeurs.
-Retrait: jusqu'à 0,25%
-Indice de flauge: 0,2%
-Dilatation thermique: 0,005mm/mK
-Conductivité thermique:0,64W/mK à 0,93W/mK
-Recyclable: oui
-Entretien: tous les 3-4ans
Composition: Terre graveuleuse et argilieuse ou aussi en terre fine + entre 5% et 15% de liant
-Résistance au feu: faible
-Energie grise: seulement 5% d'énergie non renouvelable. 2,61KWh/m3



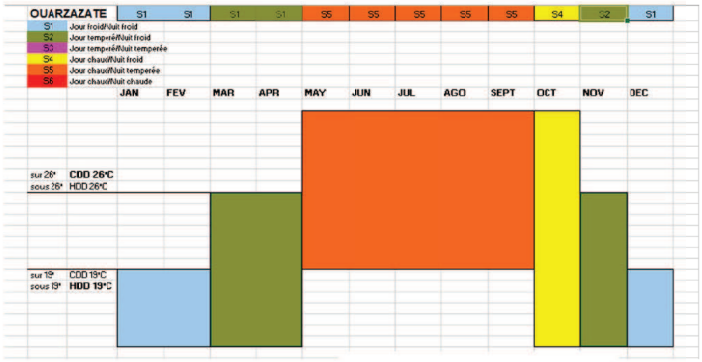
# SITUATION

**SITE D IMPLANTATION : OUARZAZATE, MAROC**

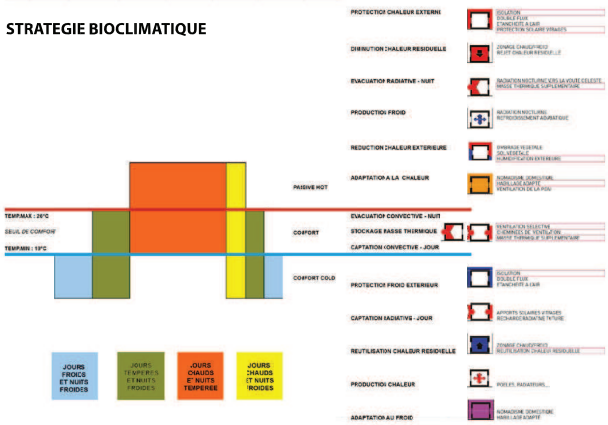
Climat chaud et sec

Le terrain que nous avons choisi se trouve à proximité d'une université.
Il nous semblait donc évident de créer un logement étudiant qui deviendra par la suite le quartier estudiantin de Ouarzazate.

**CLIMAT**




**STRATEGIE BIOCLIMATIQUE**



# ANNEXE 7
## Application de la méthode au Solar Decathlon Middle East - Dubaï 2018 Projet Baitykool

Le Solar Decathlon Middle East (SDME) est une compétition internationale organisée par l'agence de l'énergie américaine, et qui vise a identifier des améliorations dans les modes constructifs, matériaux et équipements des bâtiments par le biais d'une compétition entre une vingtaine de prototypes à échelle 1:1 de maisons de moins de 100 m2 qui démontrent leur qualités pendant une mise en compétition de 15 jours pendant lesquelles les maisons devront démontrer ses qualités de performance et de confort d'usage. La compétition est constituée de dix épreuves: Confort, Architecture, Fonctionnalité, Gestion Énergétique, Ingénierie & Construction, Végétation & Aménagement, Transport & Mobilité, Environnement Durable, Communication et Innovation. Les prototypes sont construits par l'équipe qui est constitué par des étudiants des dernières années de formation universitaire et par des enseignants chercheurs qui supervisent et qui apportent leur expérience. En parallèle de la présente étude, nous avons travaillé sur projet concernant le climat chaud : la compétition Solar Decathlon Middle East, SDME, comme étant le premier démonstrateur à l'échelle 1:1 d'une situation représentative du climat très chaud. Ainsi nous avons candidaté en juin 2016 avec une acceptation de notre candidature en septembre. L'équipe était lideré par l'Université de Bordeaux (UB), l'École Nationale Supérieure d'Architecture et de Paysage de Bordeaux, et deux universités du Moyen Orient, Amity University, à Dubaï et An Najah University à Naplouse. Le projet est coordonnée par le Dr. P. Lagiere (UB), en équipe avec des enseignants-chercheurs Dr A. Sempey (IUT GC) et le Dr D. Bruneau (ENSAPBx) et moi même, Ferran Yusta comme Coordinateur des volets Architecture et Construction. Nous avons aussitôt constitué une équipe d'étudiants qui ont su mener le projet en avant avec leur propres idées et travail soutenu à coté de leur cursus académique officiels . Aujourd'hui au même temps que nous écrivons ces lignes, la conception du projet est finie, Il est déjà construit partiellement en France, et des parties sont transportées à Dubaï par conteneur pour un montage dans le site de l'université partenaire, Amity University, et puis démonté et remonté sur le site du concours en Novembre 2018. Participer a cette compétition signifia pour nous la concrétisation de la raison du présent étude: comment construire en climat très chaud le logement le plus efficace et confortable possible?

Les pages suivantes illustrent le processus de conception suivi et les parallèles avec la méthode proposée dans cette étude.

### A7-1 Contexte et règles de la compétition

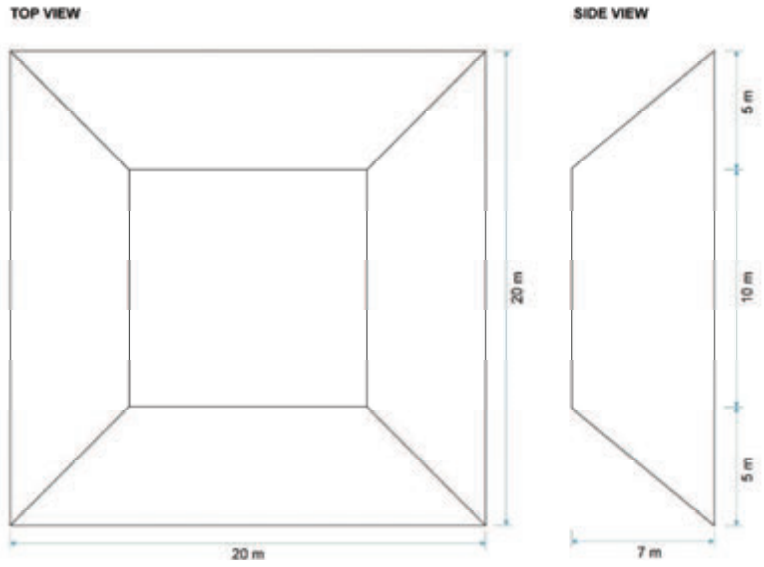
Nous avons du d'abord étudier les règles de la compétition qui équivalent à un règlement d'urbanisme auquel un concepteur serait confronté ailleurs. Voici un résume avec les extraits des règles les plus influentes sur la conception du prototype: Confort, Architecture, Fonctionnalité, Gestion Énergétique, Ingénierie & Construction, Végétation & Aménagement.

Règle 5-1 l'enveloppe Solaire:
Ils définissent l'enveloppe solaire comme une forme de pyramide tronquée avec une base de 20 m x 20 m et une un plan supérieur de 10 m x 10 m et une hauteur entre les deux plans de 7 m. Cette gabarit maximale imposé cherche a ne pas générer de l'ombre portée sur la parcelle colindante. Cependant ils permettent de dépasser certains éléments filaires si l'équipe est en mesure de prouver qu'il n'y a pas d'incidence dans les ombres portées des parcelles adjacentes (Figure A7-1).

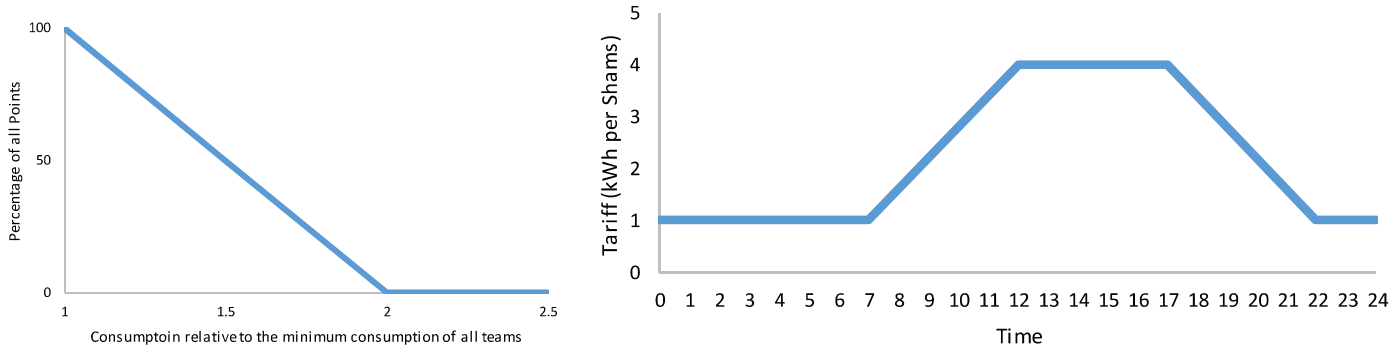
Règle 6-2 Surface projetée au sol
La projection verticale du projet au sol ne pourra excéder de 150 m2, et la surface de plancher habitable sera de 90 m2 pour une maison de plain-pied

Règle 7-1 Sources d'énergie de la maison
Les sources sont la radiation solaire et le réseau électrique. La connexion au réseau vise surtout à favoriser un échange d'énergie entre les besoins et la production, même si le premier objectif est que la maison puisse avoir un bilan positif : produire plus qu'elle ne consomme dans des bases de consommation annuelles. La conception de la maison devra favoriser un lissage de la production solaire électrique pour renvoyer aussi peu que possible au réseau.

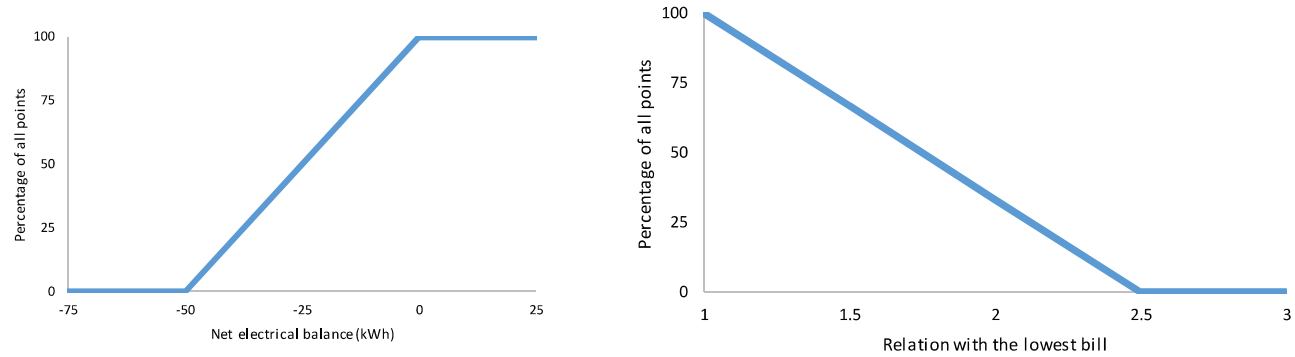
Règle 7-4 Technologie et intégration des panneaux photovoltaïques
L'intégration de la technologie photovoltaïque, et de toute autre technologie d'ailleurs, est unes des réglés les plus répétés par les organisateurs depuis le début de la compétition. Il nous semble clair que il tachent d'influencer la tendance actuelle qui est de placer les unités de climatisation de façon aléatoire sur



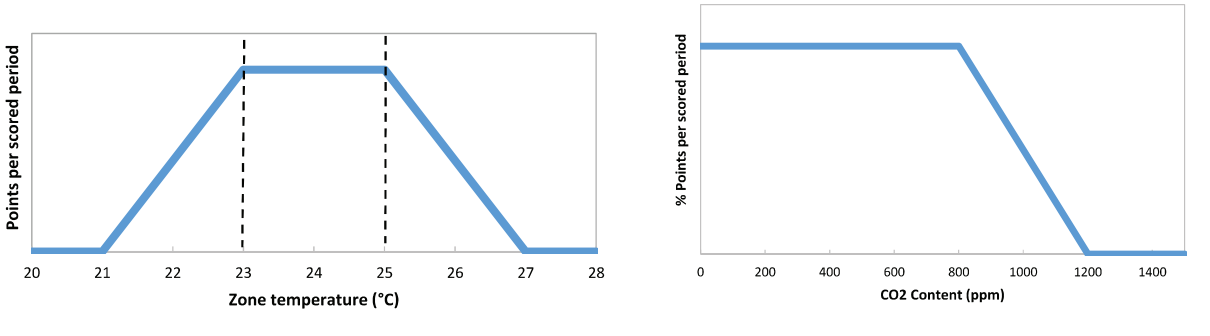

*A7-1- Description du gabarit maximale du prototype Solar Decathlon. Source: SDME 2018*




*A7-2- Règles d'attribution des points pour la consommation énergétique interne de la maison Solar Decathlon. Source: SDME 2018*




*A7-3- Règles d'attribution des points pour le bilan électrique. Source: SDME 2018*




*A7-4- Règles d'attribution des points pour la permanence dans la plage de températures et CO2. Source: SDME 2018*

les façades des logements. Les maisons seront connectées en permanence au réseau principale et pourront injecter un partie de l'électricité produite sur le réseau et récupérer de la puissance dans les heures creuses de radiation solaire.

Règle 7-5 Pompes a chaleur
Les unités de climatisation sont autorisées avec une puissance maximale de 6 kW

Règle 7-9 Système de refroidissement par des produits desséchants du types sels.
Ce type de refroidissement sont autorisées seulement sous la condition qu'ils soient régénératifs, et donc que le poids du produit en début et a la fin de la compétition soit le même.

Règle 8-4 Les eaux grises
La récupération des eaux grises, eaux usées domestiques sans matières polluantes tels que des matières fécales, sont en principe acceptés dans la compétition avec des fins d'arrosage et refroidissement par évaporation. L'eau de pluie est aussi récupérable pour stockage et ultérieure utilisation. La chaleur ou fraîcheur de l'eau grise est aussi récupérable avant d'envoyer l'eau à dépôt résiduel.

Règle 8-8 Masse thermique liquide
L'utilisation de liquides comme masse thermique sont autorisés.

Les dix différentes épreuves dans la compétition ont des ponctuations différentes. Nous avons décrit les caractéristiques les plus importantes ci dessus:

1. Architecture -100 points
La cohérence de la conception, la flexibilité de l'espace intérieur et extérieur, l'innovation des formes, l'intégration des systèmes énergétiques et de confort, et comment elle répond aux besoins spécifiques du Moyen Orient: type de peau, matériaux, et style de vie de la classe moyenne.

2. Ingénierie et construction - 100 points
Les innovations apportées en structure, montage, partitions internes, et systèmes techniques comme la plomberie, réseau électrique et les panneaux photovoltaïques et la cohérence de tous ces volets ensemble dans une même construction.

3. Gestion de l'énergie - 140 points
Celle-ci est l'épreuve la plus importante de la compétition, qui vise l'efficience et le bilan énergétique de la maison, ainsi que le système électrique de gestion. Son évaluation est faite en fonction de la valeur des différents flux d'énergie durant la période de la compétition. Cette épreuve est divisé en quatre sous-épreuves:
3.1 La consommation énergétique dans la surface intérieur de la maison. Elle vise a déterminer la consommation électrique pendant que la maison dans le créneau de confort acceptée dans la compétition. La consommation de la maison durant la compétition sera évaluée selon la formule suivante:

$$L=Ev/A + Ef/C$$

*Avec:*
*L: Consommation électrique*
*Ev: Consommation en rafraîchissement, ventilation, lumière et eau chaude.*
*A : Surface de plancher de la maison*
*Ef: Consommation des électroménagers et systèmes de gestion intelligente*
*C: Surface de plancher moyenne de toutes les maisons de la compétition*

Prenant comme référence le projet le plus économe de toute la compétition, qui aura la totalités des points, les autres projets auront des points en fonction de la proximité a la consommation du projet le plus econome, selon la graphique de la Figure A7-2

3.2 Bilan énergétique production/dépense
Un bilan énergétique sera fait a l'issue de la compétition entre l'énergie injectée au réseau par la production de l'énergie solaire et l'énergie dépensée du réseau pour les besoins de consommation lors des moments où l'énergie solaire n'était pas disponible. Afin de ne pas encourager la production massive d'électricité dans le logement, la totalité des points sont alloués si le bilan est simplement nul. et moins de points si le bilan est négatif. en tout cas il n'y a pas plus de points pour un bilan positif de production d'énergie, Figure A7-3.

3.3 Corrélation temporelle entre la production électrique solaire et la consommation domestique
L'organisation rappelle a juste titre que une des enjeux autour de la production d'énergie électrique solaire est l'adéquation entre la production et la consommation afin d'utiliser au minima le transport d'énergie

électrique par le réseau extérieur. Les points allouées en fonction de cette corrélation sont au prorata de la valeur de la corrélation.

*Points obtenus= Points maximales x Corr.*

*Corr= (Eg_l+Ebatt_l)/El*

*Avec :*
*Eg_l : Énergie générée et consommée simultanément par les charges énergétiques domestiques*
*Ebatt_l : Énergie fournie par les batteries vers les charges énergétiques*
*El : Énergie totale consommée par les charges énergétiques domestiques*

3.4 Adaptation temporelle de la demande.

Cette épreuve s'intéresse au comportement des usagers et a leur organisation quotidienne des charges énergétiques afin de l'éloigner des pics de consommation journalières dans la région. Il invite aux équipes à adopter des stratégies alternatives pour utiliser l'électricité du réseau pendant les moments ou la demande générale régionale d'électricité est basse.

4. Efficience énergétique de la conception des composants et des systèmes associés - 80 points

Une évaluation des différentes parties de l'enveloppe, la maison: murs, toits, et sol pour minimiser les besoins de rafraîchissement, ainsi que les systèmes de architecture passive, l'efficacité des systèmes actives, l'efficacité des électroménagers et la simulation thermique annuelle du bâtiment.

5. Confort - 120 points

Le confort intérieur est la deuxième épreuve en terme d'importance par sa ponctuation, elle démontre que l'organisation du SDME considère la maîtrise du confort intérieur comme une condition nécessaire pour la réussite des maisons de basse consommation. Six volets différents composent cette épreuve:

5.1 Température

La température devra être entre 23ºC et 25ºC pendant les moments analysés pour avoir la totalité des points, pour des températures avec un dépassement maximale de 2ºC donne des points réduits et aucun point est récupéré en dessous de 21ºC, ou au-dessus de 27ºC, une fenêtre aussi réduite est nécessaire pour exiger a tous que les maison soient comparées avec les mêmes valeurs de température intérieures, Figure A7-4.

5.2 Humidité Relative

L'humidité, HR, devra être entre 35% et 60%, avec des points réduits si elle est descend jusqu'au 25% ou remonte jusqu'au 70%

5.3 Qualité de l'air et des niveaux de CO2

Pour avoir la ponctuation maximale les niveaux de CO2 des maisons devront être en dessous de 800 ppm avec des points réduits entre 800 et 1200 ppm comme montre la A7-4.

5.4 Éclairement naturelle et artificielle

Sur trois points de la maison identités comme des zones très utilisées, le niveau de lumière devra être supérieure a 300 lux. Pour des valeurs entre 300 et 100 lux des points reduits seront accordés, et zero points en dessous. Si avec la lumière naturelle les valeurs ne sont pas respectés les equipes feront appel a la lumière artificielle. encore une fois ces mesures visent a pouvoir comparer des niveaux de confort similaires donnant lieu a des consommations comparables à l'intérieur des prototypes.

5.5 Affaiblissement acoustique des façades extérieures

Les niveaux d'affaiblissement acoustique doivent être égaux ou supérieurs à 42dB, avec des points réduits entre 42 et 30 dB, et aucun point en dessous de 30 dB.

5.6 Bruit des systèmes de rafraîchissement.

Le bruit des systèmes de refroidissement, mesurés depuis le séjour ou pièce principale doivent être inférieurs à 25dB pour avoir tous les points, ente 25 et 35 dB pour des points réduits. Si les niveaux sonores sont supérieurs a 35dB, aucun point n'est pas accordé.

6. Fonctionnement de la maison - 120 points

Dans cette section, le fonctionnement standard des électroménagers les plus habituels, lave linge, congélateur..etc, est mis à l'épreuve. Elle intègre aussi un des concepts clefs de la compétition: la consommation d'eau. La règle est simple: la maison qui aura la moindre consommation aura la ponctuation maximale.

8. Empreinte écologique - 100 points

Cette épreuve est la plus ambitieuse et emporte l'acte de bâtir au-delà de la simple consommation énergétique, elle évalue l'impact environnemental dans tout le cycle de vie de la maison, comme énergie grise ou l'utilisation des matériaux de construction à faible impact. Le respect du cycle de l'eau et l'intégration de la végétalisation est aussi pris en compte dans cette épreuve. Les critères d'évaluation des performances donnant une ponctuation ne sont pas clairement définies dans les règles.

Ces règles viennent identifier très justement les comportement qui caractérisent une maison dans la région soumise a un climat très chaud. Elles établissent aussi le objectifs qu'une maison exemplaire devrait rechercher, comme par exemple la corrélation entre l'énergie produite et consommée, ou le bilan énergétique positif entre l'énergie consommée et produite.

## A7-2 Déroulement de la conception du projet

**Proposition initiale**

La genèse du projet SDME Baytikool eut lieux en Juin 2016 lors de la préparation de la candidature. L'équipe proposa un concept qui consistait à retourner le logement autour d'un patio intérieur à l'air libre contrairement à la conception classique des logements avec ses fenêtres vers l'extérieur directement impactées par le rayonnement solaire. Ceci nous permettait d'assurer une protection solaire tout en gardant une vue généreuse vers la cours extérieur protégée et puis vers l'extérieur. Cette proposition était orientée au début vers l'habitat collectif afin de faire des appartements avec une configuration de façades sans fenêtres, Figure A7-2 montre les premières esquisses.

**Proposition Finale**

Les nombreuses idées et propositions ont coloré et influencé la conception initiale. L'équipe décida que pour un soucis de mise en valeur, un maison individuelle serait un meilleur prototype et des adaptations ont du se faire pour apporter un confort acceptable au patio comme montre la Figure A7-3.

Les caractéristiques principales du nouveau concept sont celle d'un coeur de maison, la cour intérieure végétalisée protégée par une pergola avec un surface en panneaux photovoltaïques qui se rétracte le soir pour faciliter la décharge thermique de ce coeur vers le ciel et apporter une sensation de cour dégagée et ouverte. En parallèle de panneaux rayonnants en toiture refroidissent un réservoir d'eau par décharge thermique vers le ciel nocturne. Cette eau refroidie permet d'apporter du froid à la maison dans des heures diurnes les plus chaudes, découplant ainsi la production nocturne du froid et son utilisation.

La production de plantes nourricières par un système d'aquaponie permet une agriculture urbaine dans une région qui a une forte dépendance alimentaire des importations extérieures, et qui permet par cette production de rafraîchir la cour intérieure. La prise de l'air vers l'intérieur de la maison est faite depuis cette cour. Les eaux usées grises sont recoltées est renvoyées dans le toit végétalisée pour réduire l'absorbance d'une partie de la surface de toit et le refroidissement de l'air environnant par les plantes de la toiture (plantes non reliées au système aquaponique) et la terre mouillée du sol. La dernière mesure de gestion des eaux est orientée vers les eaux noires (eaux vannes) qui elles sont connectées a un système de traitement par verres de terre, le système de lombrifiltre, Lombric (brevet du laboratoire I2M et Nobateck 2012) qui permet de transformer l'eau noire en eau potable, même si dans la compétition la consommation de cette eau ne sera par permise. L'ensemble montre un cycle de l'eau vertueux sans rejets d'eau vers l'extérieur.

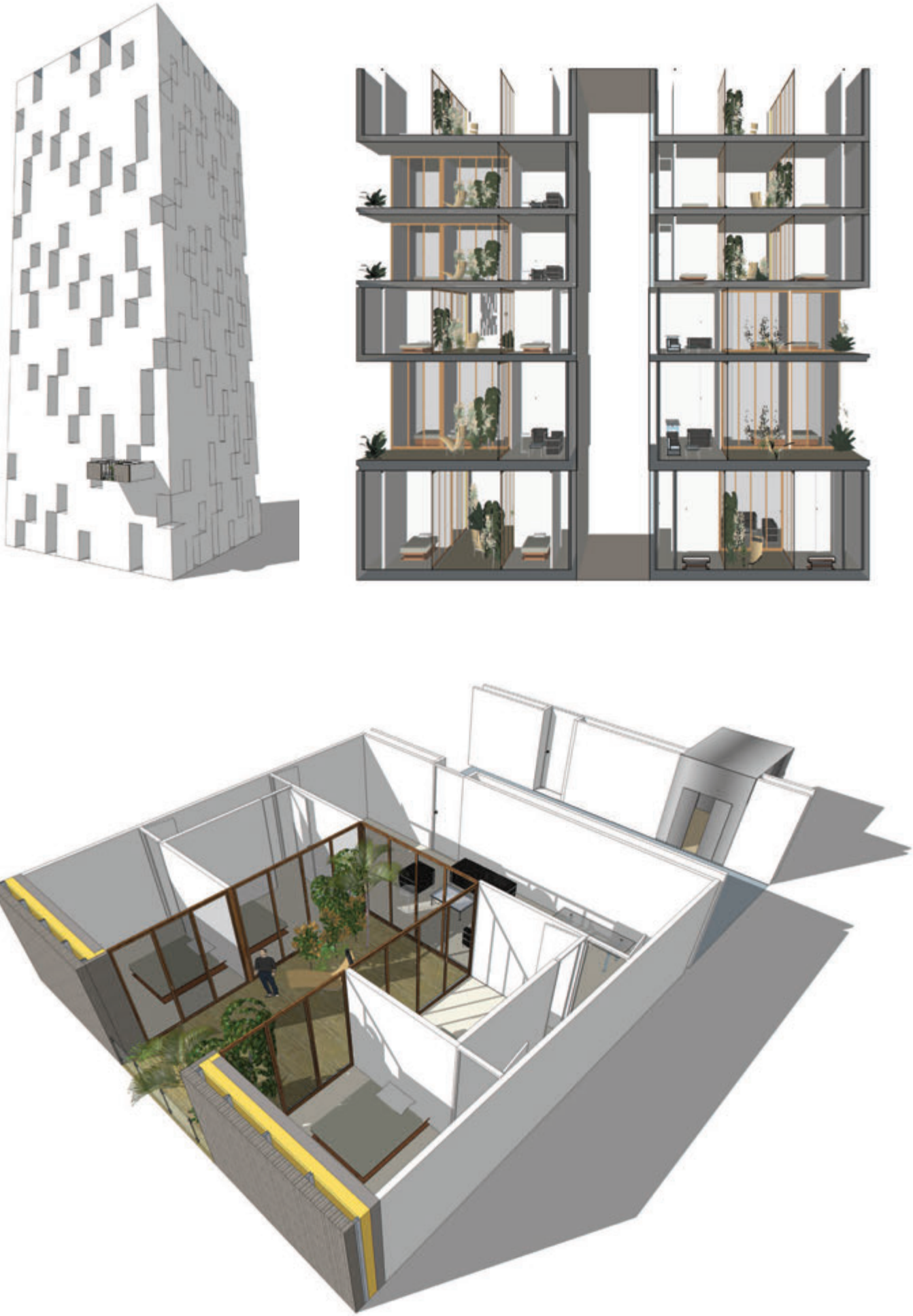


*Figure A7-2- Proposition initiale du concept BaityKool : Logement collectif sans fenêtres directes vers l'extérieur.*
*Crédit : Équipe BaityKool - Solar Decathlon Middle East 2018*

## A7-3 Analyse des actions architecturales utilisées

Pour une situation climatique de Dubaï comme montre la pondération de l'Annexe 8, les actions les plus intéressants sont celles liées au S4 et S6, et sont données par le tableau de compatibilité (Figure A7-3).

Tous ces actions n'ont pas pu se mettre en place pour des diverses raisons architecturales, de contexte et budgétaires, même si plus 70% des actions sont représentées dans le prototype :

1- Maîtrise de l'étanchéité à l'air - action prévue
2- La réduction de la température extérieure - action prévue :
tous les échanges sont faits a travers de la cour intérieure végétalisée et protégée du soleil.
3- Isolation forte de l'enveloppe - action prévue
4- Ventilateurs intérieurs - action non prévue
5- Réduction des ouvertures de la façade - action non prévue
6- Vitrages solaires G<0,25 - action non prévue ; type de vitrage G=0,6 et TL=80% (Figure A7-3)
7- Décharge nocturne radiative : action prévue
8- Protection extérieure par brises-soleil de densité moyenne : action prévue
La protection se fait par la pergola, rideau extérieurs et panneaux en béton BFUP
9- Rideaux réfléchissants - action non prévue
10- Suppression des ponts thermiques - action prévue
11- Triple vitrage isolant - action non prévue
12- Ventilation mécanique contrôlée (VMC) double flux avec échange thermique - action prévue
13- Vitrée nord de préférence - action non prévue
14- Orientation N - action non prévue
17- Entrée d'air par puits souterrains à faible débit - action prévue
La cour intérieure rafraîchie représente l'effet des puis souterrains qui refroidissent l'air entrant.
16- Ventilation transversale sans infiltrations - action prévue
17- Masse thermique - action prévue
Une paroi intérieure en terre crue (changement de phase) est sur 50% des murs intérieurs.

Ainsi les points prévus dans la phase finale de conception sont : 1, 2, 3, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 15, 16, et 17 soit 12 points sur 17 ce qui représente 70% des actions architecturales favorables

Les points non prévus sont 4, 5, 9, 11, et 14 . Ces points pourraient, dans le cas d'une construction permanente s'appliquer à moindre coût.

Une action innovante non analysée dans la méthode des saisons climatiques est la super oxygénation de la cour intérieure par les plantes. Ceci permet à la maison d'avoir un besoin de renouvellement de l'air intérieur mineur car les taux de $CO_2$ seront moins élevés que sans la végétation. Par contre pendant la nuit la prise d'air devrait pouvoir se faire en toiture et pas dans la cour pour éviter des taux de $CO_2$ plus importants venant de la respiration nocturne des plantes. Cette mesure corrective n'est pris en compte dans la conception du prototype.

## A7-4 Photos du processus de conception et de construction du prototype Baitykool

Les pages suivantes montrent une sélection des scènes marquantes des processus de conception et de construction du prototype par les étudiants de l'Université de Bordeaux, l'École d'Ingénieurs des Arts et Métiers et l'École d'Architecture et de Paysage de Bordeaux. Ce processus à duré deux ans, octobre 2016- Novembre 2018 et a mis a l'épreuve une équipe très variée d'étudiants et enseignants chercheurs. La conception collégiale d'un tel prototype n'est pas une tache facile, mais sa construction fait en grande majorité par les étudiants, de la charpente aux systèmes énergétiques, avec une logistique très complexe de fabrication en France, confinement, envoi par conteneur, assemblage sur place, finitions et finalement, un démontage en trois grandes blocs pour le transporter sur le site de la compétition, le parc solaire «Mohammed bin Rashid Al Maktoum Solar Park», pour être finalement assemblée et préparé pour la compétition du 14 au 29 novembre 2018.

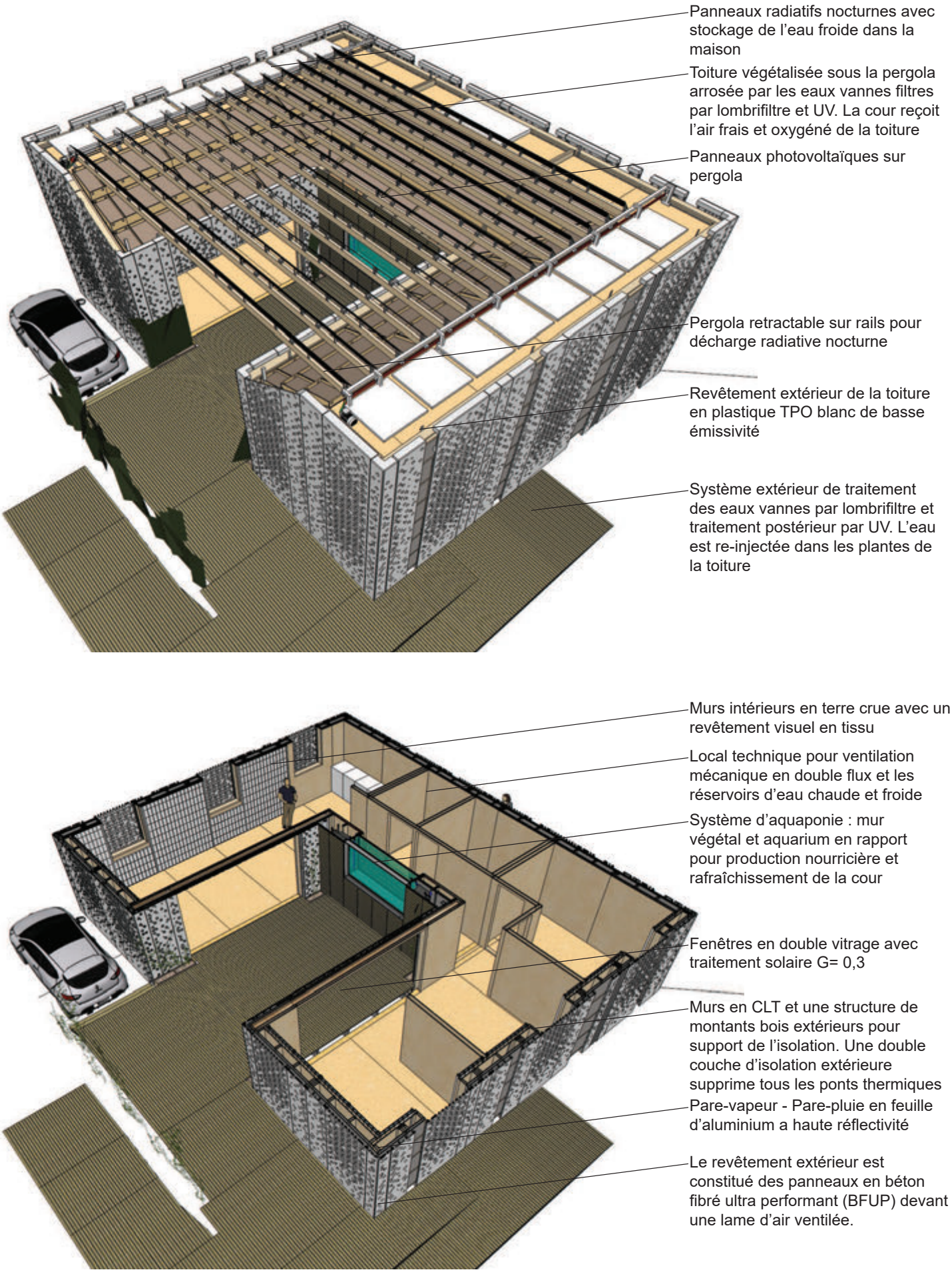



*Figure A7-3- Proposition finale du concept BaityKool : maison individuelle avec pergola solaire de jour (haut) et pergola rétractée le soir. Crédit : Équipe BaityKool - Solar Decathlon Middle East 2018*

# PRESS KIT

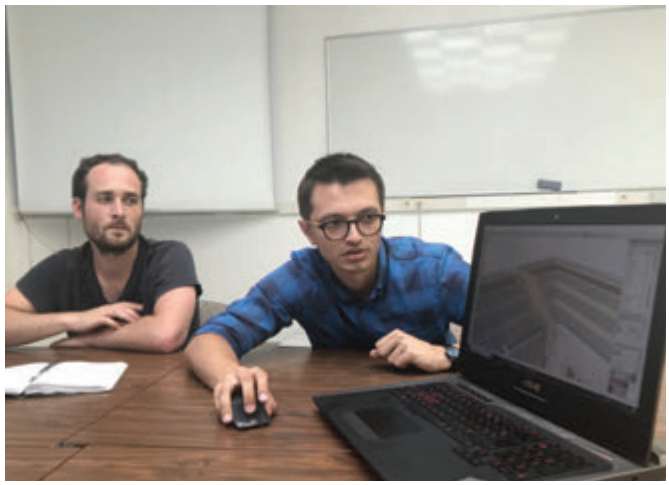
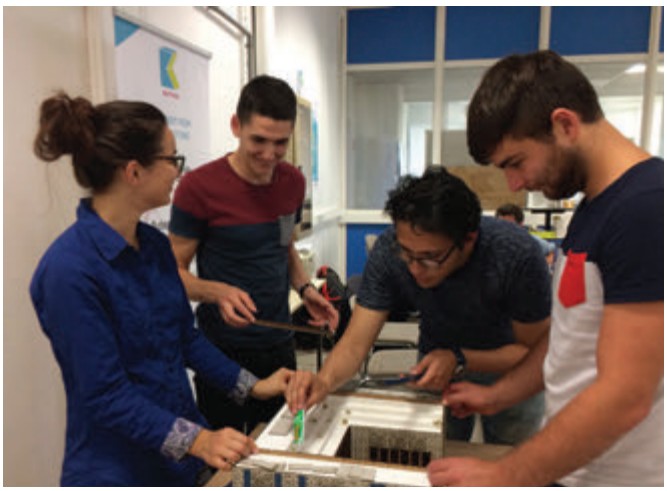
## BUILD YOUR FUTURE HOME IN A HOT CLIMATE

BAITYKOOL

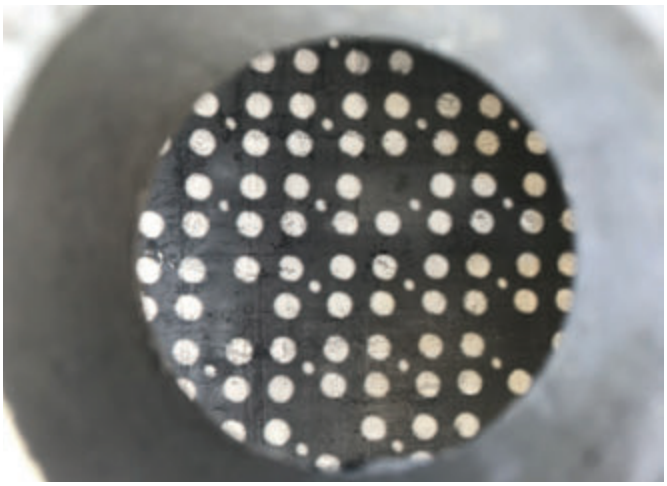
TEAM BORDEAUX
// FRANCE
// PALESTINE
// UAE

SOLAR DECATHLON MIDDLE EAST

*Figure A7-4- Dossier de presse du projet Baitykool.*
*Crédit : Équipe BaityKool - Solar Decathlon Middle East 2018*

*Photos A7-1- Solar Decathlon Middle East 2018 - Equipe Baitykool : Phase de conception du Octobre 2016 au juin 2018*
*Crédit : FYu*



*Photos A7-2-Solar Decathlon Middle East 2018 - Equipe Baitykool : Essais sur l'enveloppe en BFUP Avril-Juillet 2018*
*Crédit : FYu - Solar Decathlon Middle East 2018*

*Photos A7-3- Solar Decathlon Middle East 2018 - Equipe Baitykool : Construction par les étudiants de la structure bois*
*Crédit : FYu*

*Photos A7-5- Solar Decathlon Middle East 2018 - Equipe Baitykool : Assemblage par les étudiants des fondations sur le site intermediaire*
*Crédit : FYu*

*Photos A7-6 Solar Decathlon Middle East 2018 - Équipe Baitykool : Finalisation de la construction la structure bois*
*Crédit : Equipe Baitykool*

# ANNEXE 8

## Caractérisation du climat de Dubaï selon la méthode des Saisons Climatiques pour une plage de température de l'air sec de 23ºC-25ºC pour la compétition du Solar Decathlon Middle East 2018.

### Année climatique

Selon les règles de la compétition, le fuseau de confort donnant la ponctuation maximale est 23ºC-25ºC. Nous allons tout d'abord rechercher le comportement du climat de Dubaï avec la méthode des Degré-Jours (DJ) de DD25ºC et de DD23ºC. La Figure A8-1 montre la différence entre une année climatique à 19-26ºC et une année climatique à 23-25ºC : le diagramme de l'année climatique change et devient plus extrême: les saisons S3 (jours et nuits tempérés) et S5 (jours chauds et nuits tempérés) se transforment en S4 ( jours chauds et nuits froides) avec des stratégies similaires de stockage du froid et de déphasage mais avec plus de restrictions car certains moments des la nuit sont maintenant considérés comme froides, donc moins de latitude possible pour une ventilation transversale nocturne d'importance sous risque de trop refroidir la maison et de la rendre inconfortable (selon les règles de l'organisation SDME).

### Pondération de l'année climatique

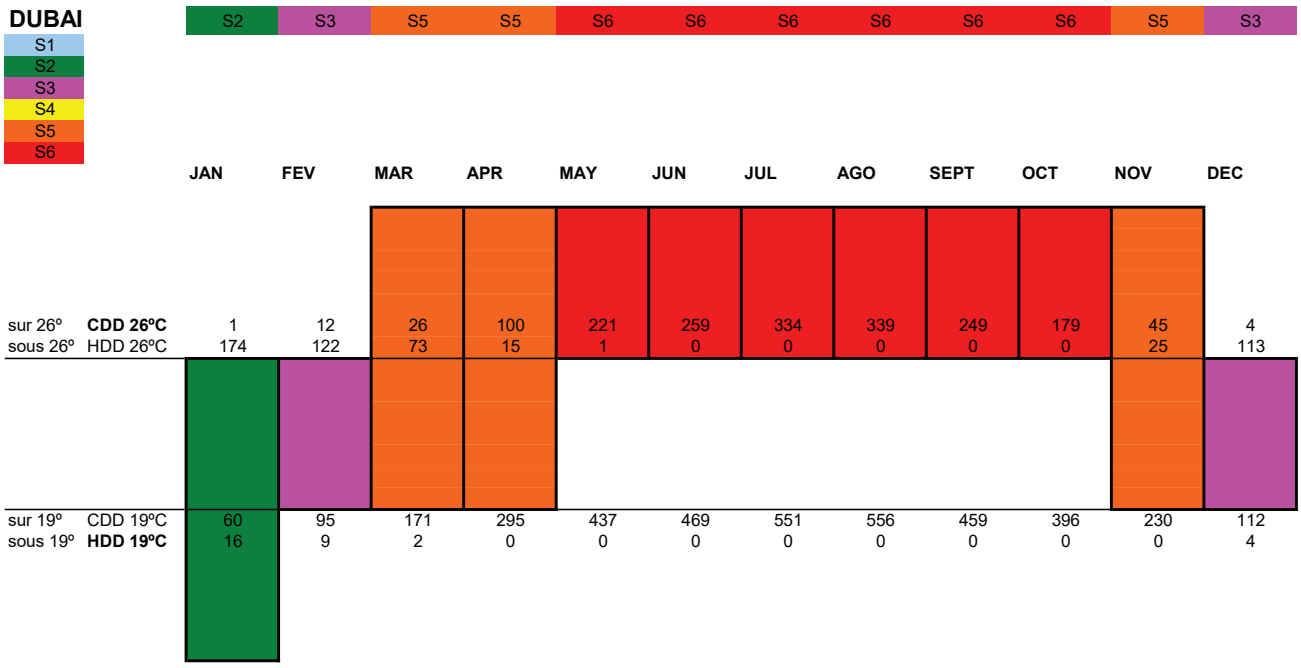
Après pondération de l'année climatique par la somme de valeurs des degré-jours, DJR et DJC, en fonction de la saison, nous obtenons une année climatique modifiée qui montre un naturel augmentation de l'importance de la saison la plus chaude S6 en détriment des autres S5, S4 et S2.

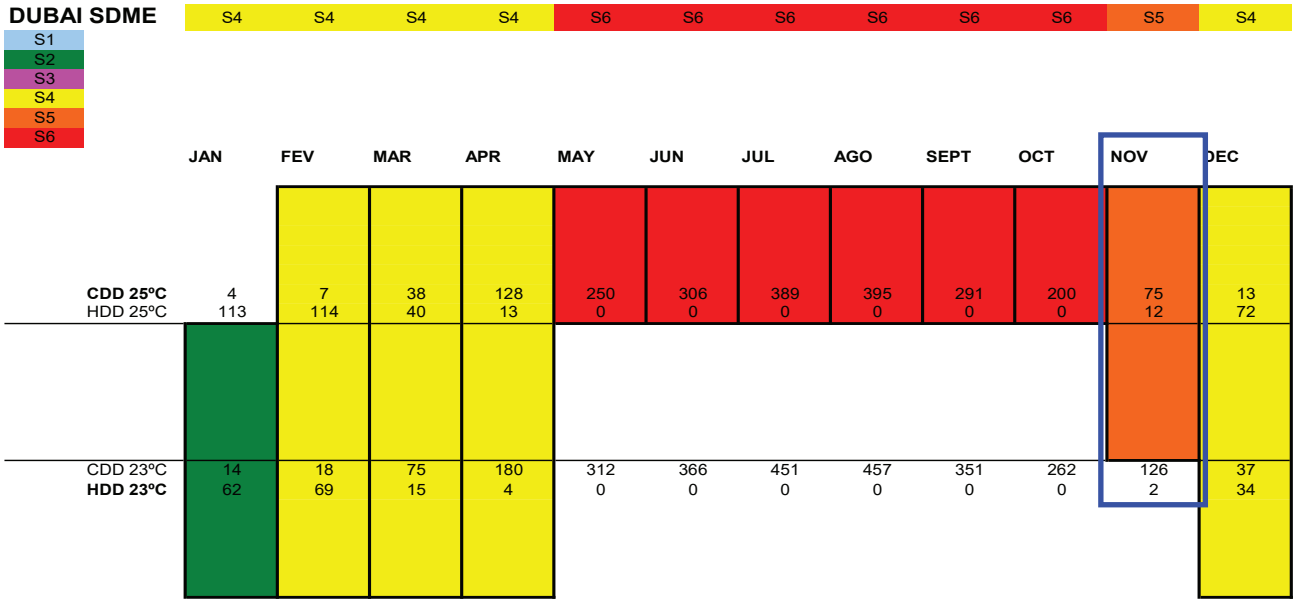
Nous trouvons finalement avec une année ou 80% des dépenses énergétiques seront liées à la gestion du projet dans des situations du type S6: fermeture complète, jour et nuit de la maison par rapport à l'extérieur, et 13% face a une situation délicate, S4, ou le jour fait chaud et la nuit froid. Les autres deux saisons S2 et S5 ne sont pas représentatives des consommations de la maison, avec une présence de 2,7% et 3,3% des consommations. Ainsi, les efforts doivent se faire autour d'une maison qui se protège en permanence du milieu extérieur. Cependant, la compétition étant organisée pendant le mois de Novembre, la saison S5 prend une particulière importance.

### Tableau des actions cohérentes

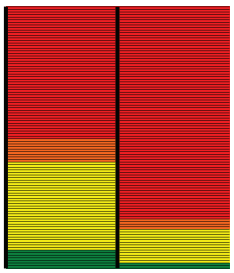
Après la pondération, nous choisissons de se concentrer sur des mesures favorables pour la saison S6 (80%) et S4 (13%). Le tableau de la Figure A8-2 montre que les actions pour une situation annuelle les plus cohérentes sont :

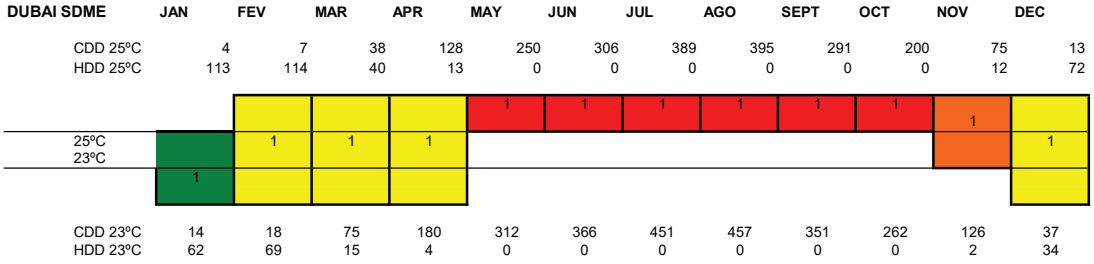
1- Maîtrise de l'étanchéité à l'air
2- La réduction de la température extérieure
3- Isolation forte de l'enveloppe
4- Ventilateurs intérieurs
5- Réduction des ouvertures de la façade
6- Vitrages solaires G<0,25
7- Décharge nocturne radiative
8- Protection extérieure par brises-soleil de densité moyenne
9- Rideaux réfléchissants
10- Suppression des ponts thermiques
11- Triple vitrage isolant
12- Ventilation mécanique contrôlée (VMC) double flux avec échange thermique
13- Vitrée nord de préférence
14- Orientation N
17- Entrée d'air par puits souterrains à faible débit
16- Ventilation transversale sans infiltrations
17- Masse thermique




*Non Pondéré / Pondéré*






| | NON PONDERE | PONDERE DD | SOMME DD | JAN | FEV | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DEC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | DD | DD | DD | DD | DD | DD | DD | DD | DD | DD | DD | DD |
| S6 | **50,0%** | **80,2%** | 1831 | 0 | 0 | 0 | 0 | 250 | 306 | 389 | 395 | 291 | 200 | 0 | 0 |
| S5 | **8,3%** | **3,4%** | 77 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 77 | 0 |
| S4 | **33,3%** | **13,5%** | 308 | 0 | 76 | 53 | 132 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 47 |
| S3 | **0,0%** | **0,0%** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S2 | **8,3%** | **2,9%** | 66 | 66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S1 | **0,0%** | **0,0%** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

*Figure A8-1- Saisons Climatiques de Dubaï avec des seuils de confort classique de 19ºC-26ºC et celui de la compétition Solar Decathlon Middle East 2018 de 23ºC-25ºC. Le rectangle bleu montre la periode de la competition.*

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | | | S1 Favorable | Indifférent | Défavorable | Inconnu | Commentaires | H3 S6 DUBAI (Tª RESENTIE) | Total Favorable | Indifférent | Défavorable | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-PROTEC. CHALEUR EXT | 1 | | | | | | | | | | | | |
| Parties vitrees | 1 | 1 | | | | | | | | | | | 0,0 |
| Reduction vitres soleil | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | 0,0 |
| 10% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | | | 1 | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| 20% D'OUVERTURE | 1 | 1 | 1 | | | 1 | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| Vitres sans soleil | 1 | 1 | 2 | | | | | | | | | | |
| 100% VITREE NORD | 1 | 1 | 2 | | | 1 | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| Orientation vitree 100% | 1 | 1 | 3 | | | | | | | | | | |
| ROTATION NNE 22,5º | 1 | 1 | 3 | | 1 | | | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 |
| ROTATION NE 45º | 1 | 1 | 3 | | 1 | | | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 |
| Protection vitres exterieur | 1 | 1 | 4 | | | | | | | | | | |
| BSOLEIL 4 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | | | 1 | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| BSOLEIL 8 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | | | 1 | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| BSOLEIL 16 LAMES 20CM | 1 | 1 | 4 | | | 1 | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| ENCADREMENT 50CM | 1 | 1 | 4 | | | 1 | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| ENCADREMENT 1M | 1 | 1 | 4 | | | 1 | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| SANS PROTECTION EXT | 1 | 1 | 4 | 1 | | | | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 |
| SANS PROTEC EXT + INT | 1 | 1 | 4 | 1 | | | | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 |
| Protection vitres interieur | 1 | 1 | 5 | | | | | | | | | | |
| NO RIDEAUX | 1 | 1 | 5 | | | 1 | | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 |
| RIDEAU REFLECTANT | 1 | 1 | 5 | | | 1 | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| Parties opaques | 1 | 2 | | | | | | | | | | | |
| isolation murs | 1 | 2 | 1 | | | | | | | | | | |
| NO ISOLATION | 1 | 2 | 1 | | | 1 | | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 |
| ISOLATION FAIBLE 5cm | 1 | 2 | 1 | | | 1 | | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 |
| ISOL.FORTE 20/30cm | 1 | 2 | 1 | 1 | | | | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 1,0 | 0,0 |
| ISOLATION PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | 1 | | | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| ISOL. FORTE+PbRdC20cm | 1 | 2 | 1 | 1 | | | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| Sans ponts thermiques | 1 | 2 | 2 | | | | | | | | | | |
| ITI-SUPPRESSION 100% | 1 | 2 | 2 | 1 | | | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| rendement fenetre | 1 | 2 | 3 | | | | | | | | | | |
| SV Ug:5,8 (6mm) | 1 | 2 | 3 | | | 1 | | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 |
| TV Ug0,6 (6-13-6-13-6) | 1 | 2 | 3 | 1 | | | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| OBSCURE G:0,15 TL:0,2 | 1 | 2 | 3 | | | 1 | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| VITRE OBSCURE CE | 1 | 2 | 3 | | | 1 | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| Etanchéité à l'air | 1 | 2 | 4 | | | | | | | | | | |
| N50 5 v/h vs 16,5 v/h | 1 | 2 | 4 | 1 | | | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| N50 2 v/h vs 16,5 v/h | 1 | 2 | 4 | 1 | | | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| N50 0,6 v/h | 1 | 2 | 4 | 1 | | | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| Matériaux façades | 1 | 2 | 5 | | | | | | | | | | |
| METAL EMISS: 0,3 | 1 | 2 | 5 | | 1 | | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| BOIS EMISS: 0,9 | 1 | 2 | 5 | | 1 | | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| Ombrage mur opaque | 1 | 2 | 6 | | | | | | | | | | |
| LAME VENTILÉE | 1 | 2 | 6 | | 1 | | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| Compacité | 1 | 2 | 7 | | | | | | | | | | |
| PLEIN PIED | 1 | 2 | 7 | | | 1 | | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 |
| Ventilation | 1 | 3 | | | | | | | | | | | |
| VMC2F Exch Therm | 1 | 3 | 1 | | | | | | | | | | |
| VMC 2F Etherm | 1 | 3 | 1 | 1 | | | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| VMC 2F ET+ N50 2v/h | 1 | 3 | 1 | 1 | | | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |

*Figure A8-2 Tableau des actions cohérentes pour une plage de confort de 23ºC-25ºC pour des saisons S4 et S6 selon la méthode des Saisons climatiques.*

| CONSOMATIONS ENERGETIQUES | | | | S1 Favorable | Indifférent | Défavorable | Inconnu | Commentaires | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ventilation par puits souterrain | 1 | 3 | 2 | | | | | | | | | | |
| 1 v/h par puits | 1 | 3 | 2 | 1 | | | | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 1,0 | 0,0 |
| 5 v/h par puits | 1 | 3 | 2 | 1 | | | | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 |
| 2- CHALEUR INTERNE | 2 | | | | | | | | | | | | |
| Electroménagers faibles | 2 | 1 | | 1 | | | | | | | | | |
| Eclairage | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| rad/vis/conv:0,8/0,1/0,1 | 2 | 1 | 1 | 1 | | | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| rad/vis/conv:0,1/0,8/0,1 | 2 | 1 | 1 | | | 1 | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| rad/vis/conv:0,1/0,1/0,8 | 2 | 1 | 1 | 1 | | | | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 |
| 3-EVACUATION CHALEUR | 3 | | | | | | | | | | | | |
| Evacuation Convective | 3 | 1 | | | | | | | | | | | |
| Ventil. naturelle | 3 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| VENTIL+INFILTR. | 3 | 1 | 1 | | | 1 | | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 1,0 | 0,0 |
| NON V+I | 3 | 1 | 1 | | | 1 | | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 1,0 | 0,0 |
| V+NON I | 3 | 1 | 1 | | | 1 | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| NON V.+NON I. | 3 | 1 | 1 | 1 | | | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| Free cooling | 3 | 1 | 2 | | | | | | | | | | |
| FREE COOLING 15m3/h | 3 | 1 | 2 | | | 1 | | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 1,0 | 0,0 |
| Evacuation radiative | 3 | 2 | | | | | | | | | | | |
| Décharge ciel | 3 | 2 | 1 | | | | | | | | | | |
| RADIANT COOLING | 3 | 2 | 1 | | | 1 | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| Evacuation vers masse thermique | 3 | 3 | | | | | | | | | | | |
| Masse thermique | 3 | 3 | 1 | | | | | | | | | | |
| DIMINU. T. M.THERM | 3 | 3 | 1 | | 1 | | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| AUGMENT. M.THERM | 3 | 3 | 1 | | 1 | | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| M. THERM. AMPLIFIEx50 | 3 | 3 | 1 | | | 1 | | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 |
| 4- FROID PASSIF | 4 | | | | | | | | | | | | |
| Rafrai. adiabatique | 4 | 1 | | | | | | | | | | | |
| adiabatique directe | 4 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| UNITÉ EXT. ADIAB. | 4 | 1 | 1 | | | 1 | | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 |
| Refroidissement radiatif | 4 | 2 | | | | | | | | | | | |
| air frais s/toiture | 4 | 2 | 1 | | | | | | | | | | |
| EXTRACT.S/TOIT RAD | 4 | 2 | 1 | | | 1 | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| 5-REDUCTION CHALEUR EXT | 5 | | | | | | | | | | | | |
| Périphérie proche | 5 | 4 | | | | | | | | | | | |
| veget/ombra/humid | 5 | 4 | 1 | | | | | | | | | | |
| DELTA T = -1ºC EXT | 5 | 4 | 1 | | | 1 | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| DELTA T = -2ºC EXT | 5 | 4 | 1 | | | 1 | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| DELTA T = -5ºC EXT | 5 | 4 | 1 | | | 1 | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| 6-CONFORT PASSIF | 6 | | | | | | | | | | | | |
| Bioregulation | 6 | 1 | | | | | | | | | | | |
| Ventilateurs | 6 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| VENTIL.50W ( -1ºC) | 6 | 1 | 1 | | | 1 | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| VENTIL. 75W (-2ºC) | 6 | 1 | 1 | | | 1 | | | FAVORABLE | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| Faible acceptance | 6 | 1 | 2 | | | | | | | | | | |
| Tmax 23ºC | 6 | 1 | 2 | 1 | | | | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 |
| Revet. interieur | 6 | 3 | | | | | | | | | | | |
| PAROIS INT BOIS | 6 | 3 | 1 | | 1 | | | | DEFAVORABLE | -1,0 | 0,0 | 1,0 | 0,0 |