



HAL
open science

Les économies d'énergie provoquées par la crise pétrolière de 1974 dans les bâtiments publics franciliens

Samaher Wannous

► **To cite this version:**

Samaher Wannous. Les économies d'énergie provoquées par la crise pétrolière de 1974 dans les bâtiments publics franciliens. Histoire. Conservatoire national des arts et métiers - CNAM, 2013. Français. NNT : 2013CNAM0931 . tel-01078929

HAL Id: tel-01078929

<https://theses.hal.science/tel-01078929>

Submitted on 30 Oct 2014

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.

ÉCOLE DOCTORALE Abbé Grégoire

Laboratoire HT2S

THÈSE présentée par :

Samaher WANNOUS

Soutenue le : **28 Novembre 2013**

Pour obtenir le grade de : **Docteur du Conservatoire National des Arts et Métiers**
en Histoire des Techniques

**Les économies d'énergie provoquées par la crise
pétrolière de 1974 dans les bâtiments publics
franciliens**

THÈSE dirigée par :
M. GUILLERME André

Professeur, Conservatoire National des arts et métiers

Mme BARLES Sabine

Professeure, Université Paris 1 Panthéon Sorbonne

Mlle GALLO Emmanuelle

Architecte DPLG, docteure en histoire de l'art

M. MAIZIA Mindjid

Professeur, Université de Tours

M. MONIN Eric

Maître assistant, ENSAP - Lille

À Zoya

Remerciements

Je tiens à remercier en tout premier lieu, André Guillerme qui a dirigé cette thèse. Tout au long de ces dernières années, il n'a cessé de m'encourager pour mener à bien cette étude et pour tout le temps qu'il a consacré à lire avec attention mon manuscrit et pour ses précieuses remarques.

Cette thèse a bénéficié d'une Bourse Franco-Syrienne. Je tiens à saluer celles et ceux qui ont suivi mon travail, de près ou de loin.

Je tiens à faire part de toute ma gratitude à Jean-Pierre Traisnel, ingénieur de recherche CNRS au LTMU, pour m'avoir accompagné au début de la recherche ; à Gille Olive pour m'avoir consacré du temps. Merci aussi à Jean-Luc Salagnac, Martin Robin, Olivier Moreau, Guy Lebeque, Rodolphe Doucet pour leurs conseils.

Ma reconnaissance va aussi à l'équipe de HPCE qui m'a accueilli dans un projet passionnant relatif à l'économie d'énergie notamment Emmanuelle Gallo qui m'a écouté et qui a su être à mes côtés, Mathieu Fernandez, Vanessa Fernandez, Linnéa Rollenhagen-Tilly, Sandra Talisse, Aleyda Resendiz.

Merci à ma famille et aux amis de m'avoir accompagnée jusqu'au bout de cette aventure malgré leurs souffrances et angoisses qui règnent dans mon pays, la Syrie. Enfin, merci du fond du cœur à Maher pour avoir cru en moi. Sans lui, je n'aurais pas pu achever ce travail : il lui est dédié.

Résumé

La crise pétrolière de 1974 frappe de plein fouet la consommation énergétique. Cette crise bouleverse d'abord la consommation quotidienne, les entreprises qui consomment beaucoup d'énergie (acier, automobile, ... etc.), puis l'État qui voit se réduire les taxes pétrolières pour régulariser le marché public. Ainsi les citoyens, surtout les parisiens, qui ont peu de ressources énergétiques doivent changer leurs habitudes de consommation. Réduire la consommation énergétique dans la construction devient une nécessité et l'État doit montrer l'exemple. Les bâtiments publics, neufs, rénovés ou restaurés servent d'exemple et illustrent les prises de position de l'État. S'occuper des économies d'énergie dans des bâtiments publics, c'est montrer l'intérêt que l'État manifeste vis-à-vis du domaine public. Le but de ce projet est de reconstituer les manières de répartir les traditions et les décisions dans la gestion énergétique et les nouveaux moyens techniques appliqués à la construction des édifices. Les résultats mettent en évidence cette problématique à travers l'étude de quelques bâtiments publics réalisés/édifiés en Île-de-France rapidement après la crise pétrolière de 1974.

Mots-clés : crise pétrolière, bâtiment public, économie d'énergie, architecture solaire, architecture hygiène, réglementation thermique, efficacité énergétique, maintenance, maîtrise d'ouvrage

Résumé en anglais

The oil crisis of 1974 strikes quite hard the energy consumption. First of all, this crisis has disturbed the daily consumption, the companies which consume a lot of energy (steel, automobile, etc.) Then the State which reduced the oil taxes to settle the public market. The citizens, especially the Parisians who have a little reserve of energy resources may need to change their consumption habits. Reducing the energy consumption in the buildings becomes a necessity and the government has to show the example. The public, new, renewed or restored buildings, display the examples that the government wants to give of its new position. Dealing with the question of energy savings in public buildings, is also showing the governmental interest towards its public sector. See how the traditions and the decisions in the energy management and the new technical means applied to the construction of buildings are the purposes of this research, which highlights this problem and applies it to some of the public buildings realized recently after the oil crisis of 1974 in Ile-de-France .

Keywords: oil crisis, public building, energy conservation, solar architecture, health architecture, thermal regulation, energy efficiency, maintenance, project management

Abréviations et sigles

ADEME	Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AEE	Agence des Économies d'Énergie
AFME	Agence française pour la maîtrise de l'énergie
AFNOR	Association Française de Normalisation
AICVF	Association des ingénieurs en climatisation, ventilation et froid
ARCUK	Architects Registration Council of United Kingdom
Ateque	Atelier d'Évaluation de la Qualité Environnementale
BHQE	Bâtiments à Haute Qualité Environnementale
BRA	Bureau de la Recherche Architecturale
CAFU	Climat, Architecture et Formes Urbaines
CCAG	Cahiers des Clauses Administratives Générales
CCAP	Cahier des Clauses Administratives Particulières
CDU	Centre de Documentation de l'Urbanisme
CE	Chauffage Électrique
CECA	Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier
CEEA	Communauté Européenne de l'Énergie Atomique
CEI	Chauffage Électrique Intégré
CEREN	Centre d'Études Régionale sur les Économies de l'Énergie
CNAC	Centre national d'art et de culture Georges-Pompidou
COMES	Commissariat à l'Énergie Solaire
CORDA	Comité de la Recherche et du Développement en Architecture
CPCU	Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain
CPE	Contrat de Performance Énergétique
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
DENA	Deutsche Energie-Agentur GmbH
DETN	Direction des Études et Techniques Nouvelles
DPE	Diagnostic de Performance Énergétique
DTU	Document Technique Unifié
ECS	Eau Chaude Sanitaire
EDF	Electricité de France
ENTPE	Ecole Nationale des Travaux Publics de l'État à Vaulx-en-Velin
ESA	École Spéciale d'Architecture
ESIEE	l'École de l'Innovation Technologique
ESTP	École Spéciale des Travaux Publics, du Bâtiment et de L'industrie
F2E	Façades et Économie d'Énergie
FNB	Fédération National du Bois
G	Le coefficient de déperdition volumique G d'une habitation exprimé en Watt/m ³ et °C
GDF	Gaz de France
GEPA	Groupe pour l'Éducation Permanente des Architectes
GTB	Gestion Technique du Bâtiment

GTI	Grand Tertiaire et Industrie
GWh	Gigawatt-heure
H2E 85	Habitat Économe en Énergie pour 1985
HOT	Habitat Original par la Thermique
HPCE	Histoire et Perspective pour une Capitale Économe
HPE	Haute Performance Énergétique
HQE	Haute Qualité Environnementale
IMA	Institut du Monde Arabe
INPI	Institut National de la Propriété Industrielle
INSEE	L'Institut National de la Statistique et des Études Économiques
ITBTP	Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics
kWh	Kelo Watt Heure
LASH	Laboratoire des Sciences de l'Habitat
MECV	Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie
Mtep	Million de Tonnes d'Équivalent Pétrole
MTPB	Moniteur des Travaux Publics et du Bâtiment
OPEP	Organisation des Pays Exportateurs de Pétrole
PAC	Pompes à Chaleur
PAN	Programme Architecture Nouvelle
PAP	Prêt d'Accession à la Propriété
PIB	Produit Intérieur Brut
PLA	Prêt Locatif Aidé
PRS	Poutres Reconstituées Soudées
PUCA	Plan Urbanisme Construction Architecture
PUE	Power Usage Effectivness
RFA	République Fédérale d'Allemagne
RIBA	Royal Institut of British Architects
RT	Réglementation Thermique
SAVE	Actions déterminées en faveur d'une plus grande efficacité énergétique
SER	Sources d'Énergie Renouvelables
SGVN	Secrétariat Général des Villes Nouvelles
SIRF	Statistiques et Indicateurs des Régions Françaises
SPS	Sécurité Protection Santé
SRA	Service de la Recherche Architecturale
SSEE	Société de Services d'Efficacité Énergétique
SSI	Système Sécurité Incendie
SYCTOM	Syndicat Intercommunal de Traitement des Ordures Ménagères
Tec	Tonne Équivalent Charbon
UPA	Unités Pédagogiques d'Architecture
VEA	Vitrage Extérieur Accroche
VEC	Vitrage Extérieur Colle
VEP	Vitrage Extérieur Parcloses
VMC	Ventilation Mécanique Contrôlée

Table des matières

Résumé	4
Résumé en anglais	5
Abréviations et sigles	6
Table des matières	8
Liste des tableaux	13
Liste des figures	14
Liste des annexes.....	22
Introduction	23
Première partie Outils énergétiques et architecture.....	40
Chapitre 1: Architecture, hygiène, confort et économies d'énergie :.....	41
L'architecture hygiéniste.....	43
Nouvelles approches architecturales :	49
Des recherches pour une architecture économe en énergie.....	58
5000 maisons solaires : aspect et résultats	59
Technique nouvelle de la serre :.....	60
1981 Le concours « école économes en énergie » :	64
Le solaire source renouvelable de l'énergie	66
Nouvelle technique, nouveau vocabulaire :	67
L'invention solaire en France après 1974 :	69
Conclusion.....	71
Chapitre 2 : Enveloppe et Économie d'énergie.....	72
Le rôle de l'enveloppe :.....	74
La fonction thermique de l'enveloppe	75
Enveloppe active, enveloppe passive	77
Nouvelle peau des bâtiments publics dans le XXe siècle	79
Les nouvelles techniques du vitrage extérieur	83
Confort d'été et brise solaire	86
La ventilation et le confort thermique	90
L'isolation thermique	94

Le marché européen de l'isolation thermique extérieure	97
Isolation thermique en France, inventions et intervenants	99
Du G au solaire passif : une révolution chez les thermiciens.....	102
Conclusion :.....	104
Chapitre 3 : Le chauffage en France	106
La crise pétrolière et ses conséquences	113
Économie de consommation du chauffage :	114
Chauffage électrique :	117
Le chauffage au gaz :	122
Chauffage solaire :	123
La géothermie :.....	125
La contribution de la géothermie au bilan énergétique :.....	125
Les pompes à chaleur (PAC).....	127
L'utilisation de la géothermie :	128
Le chauffage urbain à Paris après 1974 :	130
Système de la « bi-énergie » :	133
Le chauffage synergétique	133
L'énergie thermique de récupération :	134
Conclusion :.....	135
Conclusion.....	137
Deuxième partie la politique énergétique de l'Europe et de la France	141
Chapitre 4 : La politique européenne d'économie l'énergétique	145
La naissance d'une politique énergétique européenne	149
L'efficacité énergétique en Europe	150
L'opinion européenne et l'économie d'énergie :	154
La disparité des mesures d'efficacité énergétique:	160
Conclusion :.....	163
Chapitre 5 : La politique française concernant l'économie d'énergie	165

L'énergie en France après 1973	167
Bilan énergétique en Ile-de-France :	170
économie d'énergie dans la construction après 1974 :	173
La réglementation thermique	174
Consommation du parc.....	177
Réglementation thermique et labels, moteurs pour maîtriser l'énergie et développer l'innovation :	181
La réglementation moteur de l'innovation	182
L'économie d'énergie dans les recherches architecturales	184
Conclusion :	189
Chapitre 6 : Maîtrise d'ouvrage et maintenance	191
La maîtrise d'ouvrage publique (MOP), Maitrise d'ouvre	192
Caractéristiques de la profession d'architecte en France	194
La maîtrise d'œuvre en Grande Bretagne	196
La maintenance et son encadrement réglementaire.....	197
La maintenance : Définition de la Norme AFNOR.....	199
La maintenance et la maîtrise de l'ouvrage.....	200
Les enjeux de la prise en compte de la maintenance dans un projet.....	201
L'approche énergétique globale	203
Les sources énergétiques	204
Optimisation énergétique	204
Conclusion.....	205
Conclusion.....	207
Troisième partie Les bâtiments publics et leurs contextes énergétiques.....	210
Pourquoi les bâtiments publics ?.....	211
Chapitre 7 :Le Centre Georges Pompidou 1971 - 1977	214
Caractéristiques architecturale du Centre Pompidou	216
Dispositions urbaines-environnement	216
Dispositions constructives - matériaux	218

Techniques de Construction : relation architectes - ingénieurs.....	221
Analyse thermique et solutions économiques	223
Rénovation et nouvelle vie	227
Le DPE du Centre Pompidou	231
Les sources formelles du Centre Pompidou	233
Conclusion.....	236
Chapitre 8. L'Institut du Monde Arabe 1981 - 1987.....	238
Dispositions urbaines-environnement	240
Dispositions constructives - matériaux	242
Analyse thermique et solutions économiques	244
Conception énergétique de la façade sud	244
La Conception de la façade Nord :.....	248
Caractéristiques thermiques et solutions économiques	249
Conclusion.....	253
Chapitre 9. Le Musée d'Orsay 1978 - 1986.....	254
Gare-musée d'Orsay.....	256
Six avant-projets pour un projet :.....	258
Dispositions constructives – matériaux.....	261
L'éclairage :.....	265
L'énergie de la gare d'Orsay :.....	266
Conclusion.....	271
Synthèse	273
Exploitation des résultats et limites d'interprétation.....	276
Conclusion.....	280
Architecture hygiène, Architecture bioclimatique et économies d'énergie	282
L'architecte et la thermique.....	283
Le chauffage et l'économie d'énergie	284
La politique Française et les économies d'énergie.....	285
Les bâtiments publics sont-ils économes en énergie ?.....	286
Perspective	288

Annexe 1 : tableaux Concours « 5 000 maisons solaire réalisés en 1983 par Jean-Pierre MENARD. Cahiers Techniques du Bâtiment, n° 55 juin/Juillet 1983.....	310
Annexe 2. Plans masse des projets gagnantes de concours Écoles économes en énergie 1985.....	314
Annexe 3. Brevets déposés en France pour les techniques d'énergie solaire entre 1970 et 2010. Source : Service de recherche d'INPI : http://www.inpi.fr	315
Annexe 4. Dépôt des brevets d'isolation thermique en France dès 1970. Source : INPI	316
Annexe 6.Évolution des parts de marché des énergies dans le tertiaire neuf en %. Source : CEREN.....	333
Annexe 7. Réglementations et labels	334
Annexe 8. Consommation d'énergie Centre Pompidou.....	338
Annexe 9. Consommation d'énergie IMA	340
Annexe10. Consommation d'énergie Musée d'Orsay	341
Résumé en anglais.....	343

Liste des tableaux

Tableau 1: les sociétés principales de marché de l'isolation en 1985. L'isolation thermique par l'extérieur, Emmanuel PLANCHE, Bernard ABRAHAM, CSTB, observatoire technico-économique du bâtiment, 1985, 30P.	101
Tableau 2: Intensité énergétique et pétrolière en France. Source : Lecture : Consommations en TEP rapportées au PIB Base 100 en 1973 pour l'énergie primaire.	147
Tableau 3 : La gravité des problèmes d'énergie aujourd'hui et dans dix ans.	155
Tableau 4 : Les qualités des différentes sources d'énergie. Source: L'opinion européenne et les questions énergétiques en 1991. Commission des Communautés Européennes.	158
Tableau 5: Répartition des bâtiments tertiaires par branches, année 2001. Source : CEREN, 2001.....	176
Tableau 6: Tertiaire : consommations énergétiques finales par usages en 2001 Source CEREN-Climat normal, STRATÉGIE UTILISATION RATIONNELLE DE L'ÉNERGIE, ADEME.	178
Tableau 7: Le tableau suivant synthétise les différentes modifications dans les techniques de la construction grâce aux réglementations thermiques.	182
Tableau 8: comparaison des consommations électriques entre différents grands établissements	225
Tableau 9: Les évolutions de consommation ramenées à la consommation de 1978 prise comme année de référence, archives du Centre Georges Pompidou.	226
Tableau 10 : Évolutions essentielles de l'expression architecturale du projet.....	260

Liste des figures

- Figure 1 : Lafayette Park bâtiment : 1961, Mise Van des Rohe, la coupe montre le chemin pour les tuyaux de climatisation et pour le chauffage. C'est un exemple de l'architecture énergétique. Source: BANHAM Reyner, The Architecture of the Wel-Tempered Environment. Londres : The Architectural Press, 2e éditio 29
- Figure 2 : Villa familial, J et P. GYGAUX HALEN EN 1977. C'est un exemple de l'architecture thermique. La façade sud-ouest fait capteur à air, l'air se réchauffe dans l'intervalle entre un recouvrement en wellacryl et un panneau aggloméré mini d'une isolation. Un ventilateur puise l'air à travers les gaines de la façade dans le registre de la dalle accumulatrice. Source ; CHICHE. P et HERZEN. M, Architecture et démarche énergétique, Suisse : éd, J.-R. MULLER-ORBE, 1985, P 68..... 29
- Figure 3 : Cahiers Techniques du Moniteur. N°1 : Le chauffage au gaz, Les Fenêtres - Un chantier : un "bâtiment'écrit" pour ordinateur - Isolation par l'extérieur - Aménagement des espaces verts, 29 mars 1976. ; « Problèmes d'identification en thermique du bâtiment », Cahiers de CSTB, n° 2168, Juill-août 1987. 32
- Figure 4 : École en plein air de Suresnes, d'Eugène Beaudouin (1898-1983) et Marcel Lods (1935-1936), 1932-1936. Vue extérieure sur les pavillons. Cliché anonyme. Non daté. Fonds Eugène Beaudouin. SIAF/Cité de l'architecture et du patrimoine/Archives d'architecture du XXe siècle/ADAGP 2011. 008 IFA. 47
- Figure 5: la Respiration Exacte et le Mur Neutralisant in Le Corbusier. Précisions sur un état présent de l'architecture et de l'urbanisme. Crès, Collection de "L'Esprit Nouveau", Paris, 1930..... 48
- Figure 6 : Le mode conservatif de forme « massive » : Andrea Palladio, Projet de villa. Les Quatre livres de l'architecture d'André Palladio. Mis en François, Paris, E. Martin, 1650, p. 48. Cité par Frédérique Lemerle en « Vitruve, Vignole, Palladio au XVIIe siècle : traductions, abrégés et augmentations »..... 51
- Figure 7: Le mode conservatif « sélectivité de verre » : Champs-Élysées. Jardin d'Hiver, Paris 1980..... 51
- Figure 8: Le mode sélectif : 1951 - Maison Tropicales à Brazzaville, République du Congo. Jean Prouvé. "Morphology: Jean Prouvé's Prefabricated Houses over Time", Lundi, 10 Decembre 2012. <http://maison-tropicale.blogspot.fr/2012/12/morphology-jean-prouves-prefabricated.html>, date de consultation, 10/03/2013. 51
- Figure 9 : Le mode génératif, Centre George Pompidou. 52

Figure 10 : Eco House in AD. Courtesy of Grahame Caine. Lydia Kallipoliti. "Return to Earth", Henry, Christopher. "The Cornell Journal of Architecture 8: RE" 24 Mar 2011. ArchDaily. Accessed 16 Jun 2012.	54
Figure 11 : école maternelle à Saint-Rémy-lès-Chevreuse 1980-1984, Georges Pedersen, architecte ; Henri Mouette, architecte : associé pour le fonctionnement bioclimatique ; Serge Ferenzi, architecte.	58
Figure 12 : École maternelle à Saint-Rémy-lès-Chevreuse 1980-1984. Fonctionnement bioclimatique en été, hiver et demie saison. Source : Fonds Mouette, Henri. Notes descriptives, Dossier 250 Ifa 9/2. Avenant, convention avec l'AFME, devis estimatif, notes... ..	58
Figure 13 : Nombre des maisons construire dans les deux phases. Le Moniteur des travaux publics, 1983 (voire annexe)	60
Figure 14 : Solaire passif gains directs (voire annexe)	60
Figure 15: Maison plexus, plans et perspective. Source : 20 maisons solaires à visiter. http://www.cdu.urbanisme.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/senartsolaire.pdf vu le 11/03/2011.....	62
Figure 16: École d'Evry, Carduner architecte, Farnallier thermicien. Éclairage zénital prévu lors du concours, mais la solution construite est une association d'un « velux » et d'un pare-soleil horizontal. Ecole à structure bois, d'excellente compacité, avec un niveau d'isolation très poussé (cloisons isolantes entre classes et couloir notamment).....	65
Figure 17 : École à Cergy-Pontoise. Coupe perspective : lumière naturelle en second jour pour patios et plancher –gaine, Françoise Jourda et Gilles Perraudin, architectes. École énergie, bulletin d'informations architecturales ; http://www.jourda-architectes.com	67
Figure 18 : Brevets déposés en France pour les techniques d'énergie solaire entre 1970 et 2010. Source : Service de recherche d'INPI : http://www.inpi.fr/ (Annexe); http://fr.espacenet.com/advancedSearch?locale=fr_FR	70
Figure 19 : le système Trombe, la première maison CNRS d'Odillo. Source: ALEXANDROFF Georges et Jeanne-Marie. <i>Architectures et climats</i> . Berger-Levrault, 1982, p 242.....	75
Figure 20 : Dispositifs de captation solaire. Source: GOULDING, J.R., LEWIS, J.O., STEEMERS, T.C. (1992) <i>Energy in Architecture: the European passive solar handbook</i> , ed. B.T. Batsford, London.....	79

Figure 21 : La chaîne de fabrication de panneaux dans l'usine CIMT de Valenciennes. Source : SULZER, Peter. <i>Jean Prouvé : œuvre complète, 1954-1984</i> , vol 4, Birkhauser, p 40.. 81	81
Figure 22 : Institut de l'environnement en 1969 et Secrétariat général des villes nouvelles en 1971-1972. Source : SULZER, Peter. <i>Jean Prouvé : œuvre complète, 1954-1984</i> . vol 4, Birkhauser, 334 p. 82	82
Figure 23 : Vu générale de l'école d'ingénieur ESIEE, Marne la vallée. Source : http://www.perraultarchitecte.com/fr/projets/2537-ecole_superieure_dingenieurs_en_electrotechnique_et_electronique_esiee.html 84	84
Figure 24: Détail de serre bioclimatique de la cité de la science à la villette. Source : « la villette : cité des sciences et de l'industrie ». <i>Technique et Architecture</i> , février-mars, 1986, n° 364, P 89. 85	85
Figure 25 : Systèmes de protection solaire. Source : CHICHÉ, Patrick. et HERZEN, Michel. <i>Architecture et démarche énergétique</i> , Orbe : (éd) J.-R. MULLER, 1985, p 36-38. 88	88
Figure 26 : Immeuble de la commission des ressources énergétiques à Californie (Nacht et Lewis, architectes). Source : <i>Révolution énergétique en Californie. Architecture climatique. Techniques et Architecture</i> . 1984, n° 354, p 105. 88	88
Figure 27 : Exemple de brise-soleil. Source : MONNIER, Gérard. <i>L'architecture moderne en France : tome 3, de la croissance à la compétition 1967-1999</i> . Paris : Picard, 2000, 311 p. 89	89
Figure 28 : chronologie des produits de combustions rencontrées de 1850 à 1974. Source : <i>Le guide ABC : Amélioration thermique des bâtiments collectifs construits de 1850 à 1974</i> . Paris : Parisiennes, 2011, p 125. 91	91
Figure 29 : système de ventilation naturelle. AYOUB Raymond, Chauffage et climatisation naturels sans équipements thermiques, In : <i>Technique et Architecture</i> , juin-juillet 1977, n° 315, pp 33-38. P 34. 93	93
- Figure 30 : Vêture à lame d'air ventilée, Inventeurs : Ovaert Francis; Renault Patrick, date de publication : 1984/09/14 95	95
Figure 31 : élément d'isolation thermique d'une paroi par l'extérieur, inventeur: Damiguet Jean-Jacques, Deperne Yves, 1982/05/21, Source : Inpi. 96	96
Figure 32 : Élément modulaire de revêtement de parois et notamment d'isolation par l'extérieur Demandeur : NICKELS JEAN CHARLES, Date de priorité : 1982-03-26, Inpi. 96	96

Figure 33: Élément composite préfabriqué pour mur comportant une brique de grande dimension revêtue des matériaux d'isolation et de revêtements intérieur et extérieur. Date de dépôt 1er juillet 1980.....	97
Figure 34 : Dépôt des brevets d'isolation thermique en France dès 1970. Source : INPI, http://fr.espacenet.com/advancedSearch?locale=fr_FR	100
Figure 35 : 1. Poêle à accumulation de chaleur, 2. L'électro-vapeur, avec son élément électrique, un appareil facile à déplacer. Source, la Science et la vie n° 59n Novembre 1921.....	109
Figure 36: Figure : Zone de Paris et de Levallois-Perret concernée par des projets de réseau (BOUSQUET M., « Le chauffage des bâtiments par centrale urbaine », La Nature, 1918, p. 23-24).....	111
Figure 37 : l'école en plein air de Suresnes édifée par Eugène Beaudouin (1898-1983) et Marcel Lods (1935-1936) en 1936.....	112
Figure 38 : évolution du taux d'équipement en chauffage central des résidences principales (étude CEREM).....	115
Figure 39 : répartition par énergie des installations de chauffage central des résidences principales (en pourcentage)	116
Figure 40 : 1972 - "Chauffage Électrique Intégré". Nom. I Prénom. Adresse. NO AI. Le Chauffage Électrique Intégré recrée les conditions naturelles de la vie.	118
Figure 41: Exemples des chauffages électriques par accumulation. Source : Catalogue De Dietrich : chauffage eau chaude sanitaire toutes énergies 1982, p 119. À droite : système 24h (licence EDF), ces accumulateurs dynamiques 24h sont constitués d'un noyau de brique réfractaires alimentées pendant la période de charge (principalement la nuit en tarif heures creuse) cependant, les jours les plus froids, l'appareil consomme également du courant de jour, mais seulement quand il a épuisé l'énergie accumulée. À gauche, un accumulateur statiques compensés : ce modèle comprend un accumulateur statiques, se chargeant exclusivement la nuit permettant de profiter au maximum du tarif EDF heures creuses et un chauffage direct par convecteur, n'agissant qu'en appoint.	119
Figure 42 : Chaudières à condensation Franco Belge (Merville), Société ENKEL-CHAUFFAGE 1985.....	122
Figure 43 : CPCU, Limite de prestation.....	130
Figure 44: Une implantation du double flux gaz et la récupération de chaleur dans maison individuelles. Source : Cahiers techniques du Bâtiment, n° 45, mai, 1982, p 81.	134

Figure 45: Pompes à chaleur air extérieur/eau (Perche i). Source : Catalogue De Dietrich : chauffage eau chaude sanitaire toutes énergies 1982, p 110. Les pompes PACHA Y 82 et Y 102 permettent de réaliser de substantielles économies de combustibles en moyenne 75%) et de réduire la dépense de chauffage de (35% à 50%).....	135
Figure 46 : La baisse de l'intensité énergétique primaire. Sources : INSEE et Observatoire de l'énergie.....	147
Figure 47: Évolution 1970-2005 de l'intensité énergétique en France. Sources : DUJIN, Anne. POQUET, Guy. MARESCA, Bruno. La maîtrise des consommations dans les domaines de l'eau et de l'énergie. <i>Cahier de Recherche</i> , N° 237, NOVEMBRE 2007, p 17.....	148
Figure 48: Les orientations prioritaires à suivre pour une politique. Évolution de 1984 à 1987. Source : Rapports Eurobaromètre spéciaux 36	158
Figure 49: Sensibilité aux problèmes d'environnement, Source : L'opinion européenne et les questions énergétiques en 1991. Commission des Communautés Européennes, Rapports Eurobaromètre spéciaux 57.....	159
Figure 50 Consommation d'énergie primaire (corrigée du climat) par énergie. Source : SOeS, bilan de l'énergie.....	168
Figure 51 Source : www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr	169
Figure 52: Consommation d'énergie finale par secteur. Source : SOeS, bilan de l'énergie...	169
Figure 53: Consommation finale d'énergie du secteur résidentiel-tertiaire, Données corrigées des variations climatiques, en million de tep. Source : Service de l'Observation et des Statistiques, bilan de l'énergie 2011.	170
Figure 54: Évolution de la consommation énergétique finale (en Mtep), Source: Statistiques et indicateurs des régions françaises.	172
Figure 55 : Consommation d'énergie : secteur résidentiel et tertiaire: Région parisienne (MtEP).....	172
Figure 56: Évolution des parts de marché des énergies dans le tertiaire neuf, Source CEREN	177
Figure 57: Centre Georges Pompidou, http://www.centrepompidou.fr	215
Figure 58 : Plan de localisation géographique et thermographique du bâtiment. Sources : TH1, APUR, Google earth et cadastre de Paris.....	216
Figure 59 : Façade sud, comité financier 22 avril 1998, 2000 046/054, archives du Centre Georges Pompidou.	218

Figure 60: Système constructifs du Centre Pompidou, Renzo Piano, Richard Rogers. Du plateau Beaubourg au Centre Georges Pompidou, Centre Georges Pompidou, 1987, Paris	220
Figure 61 : Menuiseries avec leurs raidisseurs des baies vitrées au niveau 5, Renzo Piano, Richard Rogers. <i>Du plateau Beaubourg au Centre Georges Pompidou</i> , Centre Georges Pompidou, 1987, Paris	220
Figure 62 : Diagnostic thermique du Centre Georges Pompidou, Rapport : Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie, mars 1986.....	224
Figure 63 : Répartition de la consommation énergétique du Centre Pompidou. Source : Diagnostic thermique du Centre Georges Pompidou, Rapport : Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie, mars 1986.	225
Figure 64: « note à l'attention de monsieur Jean MAHEA, le 27 mai 1986 », archives du Centre Georges Pompidou, 92038/174, DBS direction, économie d'énergie 1977-1988, p. 2 bis.	226
Figure 65 : L'évolution des consommations par type d'usage, archives du Centre Georges Pompidou, « Diagnostique thermique du Centre Georges Pompidou », ADEME, mars 1986.....	226
Figure 66 : élément de façade et équipements de production d'énergie se situent en sous-sol pour des questions de poids, d'accessibilité et de vibration. PIANO, Renzo. ROGERS, Richard, <i>Du Plateau Beaubourg au Centre Georges Pompidou</i> , Paris, Centre George Pompidou,	229
Figure 67: Coupe sur le schéma thermique et coupe sur le système de froid du Centre Pompidou, TH1 et Samaher Wannous	230
Figure 68 : Alimentation du réseau CPCU pour Centre Georges Pompidou, archives du Centre Georges Pompidou	230
Figure 69 : diagramme des consommations énergétiques du Centre Pompidou entre 1978 à 2000, il indique en négatif les économies d'énergie réalisées après la rénovation du bâtiment.....	231
Figure 70: Principe de fonctionnement. Les pompes à chaleur air/air produisent simultanément de l'air chaud et de l'air froid qu'elles diffusent dans un réseau de gaines distinctes. L'énergie calorifique de l'air est captée pour être transformée et injectée dans le bâtiment.....	231

Figure 71: Consommation annuelles d'énergie : période relevés de consommation considérée : 1977-1997, surface utile : 78 800 m2.....	233
Figure 72: Consommation annuelles d'énergie : période relevés de consommation considérée : 2000-2012, surface utile : 78 800 m2.....	233
Figure 73 : Maison du peuple à Clichy, Jean Prouvé 1936-1940, SIMONOT, <i>La Maison du Peuple, Beaudouin, Lods, Prouvé, Bodianski, Un bijou mécanique</i> , Bold, Monografik éditions, novembre, 2010, 104 p.	234
Figure 74 : Façade nord de l'IMA	239
Figure 75: Plan de localisation géographique et thermographique du bâtiment, TH1, APUR, Google earth et cadastre de Paris.	241
Figure 76 : plans de l'IMA. Source : services du bâtiment, IMA.....	243
Figure 77 : Façade sud et diaphragme, <i>Architecture d'Aujourd'hui</i> , février, 1982, n° 219. La géothermie symbole de l'architecture arabe.....	245
Figure 78 : vue intérieure de la bibliothèque de l'IMA.	246
Figure 79 : AMC, n° 18, décembre 1987. Détail de construction, façade Nord, courbe. Le triple vitrage est tenu entre des lisses horizontales elles-mêmes suspendues par des câbles et fixées aux poteaux de contreventement (raidisseurs de façade) par des rotules.	248
Figure 80: Coupe technique de l'IMA. Source: TH1 et Samaher Wannous. Distribution de l'énergie de sous-sol aux étages dans les gains techniques.....	249
Figure 81 : récapitulatif des consommations énergétique par usage en kWh et en Frs Rapport n° 9591.94.131 du 10-12-1994, SOCOTEC.	250
Figure 82 : récapitulatif des consommations énergétique totale en kWh et en Frs Rapport n° 9591.94.131 du 10-12-1994, SOCOTEC.	250
Figure 83: Consommations annuelle d'énergie et émission de CO2 de l'IMA Période de relevés de consommations considérée : 1987 – 2000 Surface utile : 18 355 m².....	251
Figure 84 : l'entrée du musée, place Bellechasse, aux allures 1900, <i>Technique et architecture</i> , n° 368, novembre, 1986.	255
Figure 85 : plan et coupe de la Gare d'Orsay, Centre de Documentation du musée d'Orsay. Musée d'Orsay, Paris, FONDS SNCF : Gare d'Orsay. ODO 1996-28-7.....	257
Figure 86: Plan de localisation géographique et thermographique du bâtiment, TH1, APUR, Google earth et cadastre de Paris.	261
Figure 87: Coupes du Musée D'Orsay, archives du Musée d'Orsay.	261

Figure 88: système de ventilation du musée d'Orsay. JENGER Jean, Orsay de la gare au musée, Paris : Réunion des musées nationaux : Musée d'Orsay, 2006.....	264
Figure 89 : Coupe transversale de a galerie Bellechasse, études d'éclairage naturel et artificiel, et études d'éclairage indirect. Gae Aulenti. Source : « Orsay, le temps du musée ». <i>Technique et Architecture</i> , n° 368, novembre 1986, p 70.....	265
Figure 90 : alimentation de l'électricité de la gare d'Orsay. Source : Musée d'Orsay, Paris, FONDS SNCF : Gare d'Orsay. ODO 1996-28-7.....	267
Figure 91 : coupe technique du musée d'Orsay.....	268
Figure 92 : Évolution de la consommation d'électricité du musée d'Orsay (1984-1996), factures EDF.....	270
Figure 93: Consommations annuelle d'énergie et émission de CO2 de l'IMA Période de relevés de Période de relevés de consommations considérée : 1986 – 2012 Surface utile : 46 000 m ²	271
Figure 94: Le Palais du Reichstag à Berlin de Norman Foster : le nouveau dôme – ou coupole - du Reichstag, avec son vaste cylindre central en verre conçu pour refléter la lumière naturelle dans la salle des séances compte parmi les éléments les plus impressionnants visuellement et architecturalement. Il fournit une ventilation naturelle et de la lumière grâce à un système de miroirs qui oriente la lumière vers la salle des séances durant la journée et la restitue à l'inverse la nuit. Des considérations écologiques sur les sources d'énergie renouvelables aboutirent à une technologie de chauffage et de conditionnement d'air alimentée par de l'huile de colza avec une réfrigération en sous-sol et des unités de chauffage.	273
Figure 95: répartition de consommation énergétique avant et après les grands travaux de rénovation.....	275
Figure 96: Zones énergétiques au Centre Pompidou, Ima, musée d'Orsay.....	276

Liste des annexes

Introduction

La capitale française n'a jamais disposé de grandes quantités d'énergie disponibles *intra muros*, mise à part la force animale et humaine. La Seine est un fleuve lent et régulier, alimentant peu de moulins à eau¹. Les forêts sont rares et lointaines, le fouage est règlementé, le ramassage du bois mort, surveillé. Les mines de houille sont elles aussi éloignées et profondes. Il y a peu d'énergies fossiles – même la tourbe est rare – comme peu d'énergie renouvelable, le salpêtre qui a fait la puissance du feu n'est plus². Au début de XX^e siècle, les ressources énergétiques dont disposent les quatre millions de parisiens³ se répartissent entre : le charbon, le bois, le gaz, le pétrole, l'électricité. De 1850 à 1914, le charbon est utilisé comme combustible principal. Les réseaux de gaz, produit à partir du charbon, se développent à Paris à partir de 1820, mais son usage concerne surtout l'éclairage et la cuisine⁴. Le réseau électrique, qui se développe à partir de 1880, est utilisé surtout pour l'éclairage urbain et dans l'industrie avant de chauffer sèchement les appartements dans les années 1970. De 1914 à 1950, le bois manque et le prix du charbon explose. Les dérivés pétroliers apparaissent comme les nouveaux combustibles, modernes, moins polluants et ne nécessitant pas de personnel. Le chauffage urbain apparaît à Paris dans les années 1920 avec la Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain (CPCU)⁵. Les réseaux sont alors alimentés par la combustion du charbon.

Les Trente glorieuses, de 1945-1974, se caractérisent par la nationalisation d'une partie des énergies : le charbon, le gaz et l'électricité et par la démocratisation du chauffage central et du confort thermique domestique. Les galeries techniques équipent les grands ensembles puis les villes nouvelles. L'incinération des ordures produit de la vapeur diffusée par le réseau de la CPCU. Le réseau de gaz naturel atteint la région parisienne pendant les années 1960 ; comme la géothermie qui apparaît dans les bâtiments puis en réseaux urbains. On le voit, les parisiens n'ont jamais cessé de saisir les nouveaux systèmes de chauffage à portée de mains, mais ils ont conservé et gardent encore des « petites cheminées parisiennes »

¹ GUILLERME, André. *Les Temps de l'eau : la Cité, l'eau et les techniques*. Seyssel : Champ Vallon, 1993, 263 p.

² GUILLERME, André. *La naissance de l'industrie à Paris*. Seyssel : Champ Vallon, 2009, p. 23.

³ De 547 000 habitants en 1801, Paris passe à un million vers 1835, deux vers 1860, trois vers 1885, quatre vers 1900.

⁴ BELTRAN, Jean-Pierre. et WILLIOT, Alain. *Le noir et le bleu : 40 ans d'histoire de gaz de France*. Paris : Belfond, 1992, p. 14.

pour l'atmosphère qu'elles offrent quand le bois crépite. Performance thermique et culture bourgeoise peuvent-elles cohabiter ? Peut-on généraliser à l'échelle de l'État en analysant les performances de trois monuments culturels du domaine public ?

Jusqu'en 1974, dans les pays riches, coloniaux, comme la France, on ne s'intéresse guère à économiser l'énergie tant elle est abondante voir inépuisable. L'opinion publique est continuellement sollicitée par la presse qui défend le bonheur national fondé sur le développement industriel national, la consommation d'énergie d'origine nationale, la construction de bâtiment individuel ou collectif nationaux, etc. Cependant, la France qui manque de ressources à la différence de la Grande Bretagne, de l'Allemagne ou de la Belgique se soucie malgré tout des déperditions trop intempestives d'énergie. Ainsi, dès 1969, une circulaire relative aux conduits de fumée⁶ affecte le confort, attribut ostentatoires de classe bourgeoise depuis le XIII^e siècle et en modère les excès. Cependant quelques « prospectivistes » jugés souvent comme les oiseaux de mauvais augures, interpelle les institutions politiques à titre préventif. Ainsi le rapport sur les limites de la croissance, paru en 1972, sous l'autorité entre autres de Denis L. Meadows fait sensation⁷. C'est la première étude importante qui souligne les dangers écologiques de la croissance économique et démographique. De nombreuses institutions et commissions se sont depuis chargées d'en tirer les conséquences, à savoir « mettre sur pied le plus vite possible un (autre) marché mondial socio-économique ». La crise pétrolière de 1973 n'a fait que rendre la situation encore plus préoccupante. La nécessité d'un rapport plus responsable de la société développée vis-à-vis des ressources disponibles fait depuis l'objet de nombreuses études que nous analyserons bientôt. Le secteur de l'aménagement urbain et de la construction est depuis reconnu comme le plus déterminant.

Fin 1973 : la crise

En octobre 1973, les prix du pétrole « flambent », la facture d'essence à la pompe secoue le monde des automobilistes, les transports en commun, le chauffage hivernal, etc.,

⁵ RAOULT, Michel. *Histoire du chauffage urbain*. Paris : L'Harmattan, 2008, 357 p.

⁶ Arrêté du 22 octobre 1969 relatif aux conduits de fumée desservant des logements.

⁷ *The Limits To Growth*, également connu sous le nom de *rapport Meadows*. demandé à une équipe du Massachusetts Institute of Technology par le Club de Rome en 1970, Rédigé par Donella Meadows, Dennis Meadows, Jorgen Randers (en) et William Behrens, le rapport est publié en version originale en 1972. Il a fait l'objet de « mises à jour » à deux reprises par trois de ses auteurs : en 1993 : Donella Meadows, Jorgen Randers, et Dennis Meadows, *Beyond the Limits. Confronting Global Collapse, Envisioning a Sustainable Future*, Chelsea Green Publishing Company, en 2004: Donella Meadows, Jorgen Randers, et Dennis Meadows, *Limits to*

bref la ville conçue par la charte d'Athènes dont un des principaux résultats a été d'augmenter considérablement les temps de transports individuel ou collectif entre domicile et travail donc leur coût. La crise de 1974 bouleverse d'abord la consommation quotidienne et les entreprises qui consomment beaucoup d'énergies (acier, automobile, etc.) puis l'État qui voit se réduire ses taxes pétrolières afin de réguler le marché. La crise économique s'installe, le plein d'emploi disparaît, le chômage croît au rythme du prix du pétrole, etc. Les citadins, surtout les parisiens qui ont peu de ressources énergétiques sont les premiers à recevoir cette gifle « énergétique » : elle remet en cause les habitudes de consommation. Réduire la consommation énergétique dans la construction devient une nécessité, l'État et le président, polytechnicien, Giscard d'Estaing, mettent l'accent sur la régulation environnementale avec ses « Cent une mesures », afin de montrer l'exemple.

A l'échelle du bâtiment, les préoccupations environnementales restent largement imposées par la question de l'énergie jusqu'à la fin des années 1980. C'est en effet, comme cela vient d'être souligné, par le chauffage et l'aération que l'hygiène et le confort doivent s'imposer dans l'habitation. Les pouvoirs publics, de leur côté, mettent en place des mesures réglementaires concernant l'isolation, la régulation, le comptage, les aides financières permettant la mise au point des techniques alternatives de chauffage (pompe à chaleur, solaire) et de nouvelles démarches qui permettent de faire des bâtiments mieux conçus et plus économes liées à une meilleure connaissance du fonctionnement thermique. La loi du 29 octobre 1974 relative aux économies d'énergie⁸ est largement débattue un mois durant à l'Assemblée Nationale, suite à la « déclaration d'urgence d'un projet de loi » du Premier ministre Jacques Chirac,

Les députés communistes veulent remettre en activité les puits de Faulquemont, en Moselle, dont les réserves, probablement stratégiques, sont évaluées à 150 millions de tonnes et de Sain-Florent, dans le Gard, où les réserves sont de 5 millions de tonnes⁹. Or, le coût d'extraction du charbon en France ne compense toujours pas l'augmentation du prix des carburants. Le débat parlementaire évoque alors l'inquiétude face aux mesures prises afin d'économiser sur la consommation de chauffage et le niveau de confort, surtout pour les

Growth. *The 30-Year Update*, Chelsea Green Publishing. Traduction française, *Rapport sur Halte à de la croissance*, est traduite par Jeanine Delaunay et publié par les éditions Fayard en 1973.

⁸ Loi n° 74-908 du 29 octobre 1974 aux économies d'énergie, *Journal officiel de la république française*, 31 octobre 1974, 11083.

enfants, les malades et les personnes âgées. Les députés « Rassemblement Pour la République » et de « l'Union Nationale pour la République », majoritaires à l'Assemblée, préfèrent recourir à la solution économique : taxation des produits à haute consommation énergétique. Le débat laisse apparaître les premières manifestations écologiques également parmi les députés. C'est dire l'importance de cette loi dans la politique hexagonale et type de législation qu'on trouve dans les autres pays membres du Marché Commun. Finalement, le 29 octobre 1974, la loi vise une nouvelle réglementation thermique.

« En cas de pénurie ou de menace sur l'équilibre des échanges extérieurs, le Gouvernement peut, par décret en conseil des ministres et pour une période déterminée, soumettre à contrôle et à répartition, en tout ou en partie, ressources en énergie et en produits énergétiques de toute nature, les produits pétroliers même à usage non énergétique et les produits dérivés ou substituables y compris les produits chimiques et interdire toute publicité, sous quelque forme que ce soit de nature à favoriser l'accroissement de la consommation d'énergie. Ce décret détermine les autorités administratives compétentes pour prendre les mesures de contrôle, de répartition et d'interdiction de publicité. Ces mesures concernent la production, l'importation, l'exportation, la circulation, le transport, la distribution, le stockage, l'acquisition, la cession, l'utilisation et la récupération des produits mentionnés ou le rationnement desdits produits [...] »

L'exigence de température intérieure est alors reformulée et la consommation énergétique doit être réduite du quart par rapport aux normes en vigueur depuis la fin des années 1950, en tenant compte de l'isolation des parois extérieures et du renouvellement de l'air afin de limiter les déperditions de chaleur. La seule exigence concerne le niveau global de déperdition des logements (coefficient G) qui dépend de la zone climatique et du type de chauffage.

En 1979, le deuxième choc pétrolier dû à la guerre entre l'Iran et l'Iraq souligne la fragilité du marché pétrolier, ces deux pays ne produisent qu'à peine 10 % de pétrole. Cependant par ses compagnies pétrolières, Total et Elf, la France consomme environ 25 % de ce pétrole, ce qui la rend plus que tributaire et, du moins, fragilise son économie. La première réglementation concernant le secteur tertiaire date des années 1976-1977¹⁰. Locaux

⁹ Questionnaire de M. DEPIETRI César, Assemblée nationale, séance du 2 octobre 1974, *Journal Officiel de la République Française*, année 1974-1975, n° 59, p 4669. <http://archives.assemblee-nationale.fr/5/cr/1974-1975-ordinaire1/001.pdf> vu le 12/10/2012.

¹⁰ L'arrêté du 12 mars 1976 relatif à l'isolation thermique des bâtiments autres que les bâtiments d'habitation. La seule obligation réglementaire, relative à la limitation de température de chauffage, est fixée par les décrets le décret n°74-1025 du 3 décembre 1974 qui précise les conditions de limitation de température des locaux et n° 79-907 du 22 octobre 1979 qui fixe à 19°C la limite supérieure de la température moyenne de chauffage d'un logement ou d'un bâtiment. (Article R131-19 à R131-24 du Code de la Construction et de l'Habitation

d'enseignement, bureaux et commerces, équipements sanitaires et sociaux, sportifs (sauf piscines et patinoires), l'hôtellerie et enfin industriels¹¹ sont concernés par ces nouvelles exigences thermiques. Les journaux télévisés, radiophoniques, les quotidiens mettent alors beaucoup l'accent sur la « demande » sociale : à vrai dire, cette demande n'est pas très explicite ; les propriétaires ne semblent pas concernés car ils chargent d'autant leurs locataires ; les locataires n'ont pas le moyen d'améliorer leur condition donc supportent l'augmentation conséquente des loyers. Seuls les logements neufs sont concernés par la réglementation thermique pour l'économie d'énergie. Une deuxième réglementation, applicable dans les bâtiments publics s'impose depuis la fin de 1988. Les réglementations thermiques aident à inventer des solutions techniques dans le but de diminuer la consommation énergétique. Or, ces réglementations influencent-ils l'architecture des bâtiments publics en cours de construction? Comment dans le cadre de la gestion thermique des bâtiments, les techniciens adoptent les nouvelles règles ?

Il faut faire la différence entre « conception thermique » et « conception énergétique », André Pouget distingue la première qui « permet d'apprécier les consommations d'énergie relatives au chauffage et au conditionnement d'air des bâtiments pour un niveau de confort des ambiances intérieures donné » et qui constitue une préoccupation essentielle. Il distingue d'autre part la conception énergétique qui « permet de prendre en considération le contexte d'approvisionnement (abonnement, options tarifaires), le maintien des performances obtenues (durabilité, maintenance, renouvellement d'équipement) et enfin les transferts entre « postes » de consommation a priori différenciés (chauffage / éclairage / conditionnement d'air / ventilation / production d'eau chaude / récupération sur rejets thermiques) »¹².

La conception thermique s'applique surtout à l'habitat. « Le dialogue architecte-thermicien y est essentiel ; le parti-pris architectural peut en effet être immédiatement évalué thermiquement ». Les bâtiments à usage tertiaire sont beaucoup plus orientés vers une conception énergétique de type « équipements et fluides ».

relative à la Limitation de la température de chauffage) et les arrêtés qui les accompagnent relatifs à différents types de locaux tertiaires.

¹¹ Par ailleurs, un arrêté a même été prévu pour les « équipements et caractéristiques thermiques dans les bâtiments de type particulier ». Notons que les bâtiments agricoles ne figurent pas dans cette liste.

¹² POUGET, André., et BREJON, Paul, DUBERNET Jean-Paul. « Conception énergétique des bâtiments du secteur tertiaire », p. 453-485, in DEHAUSSE, Robert. *Énergétique des bâtiments*. vol. 3, Paris : pyc édition, 1988, 455 p.

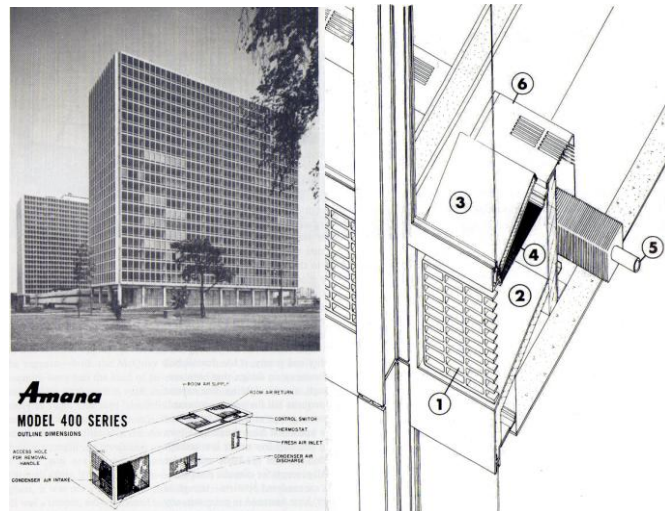


Figure 1 : Lafayette Park bâtiment : 1961, Mise Van des Rohe, la coupe montre le chemin pour les tuyaux de climatisation et pour le chauffage. C'est un exemple de l'architecture énergétique. Source: BANHAM Reyner, The Architecture of the Well-Tempered Environment. Londres : The Architectural Press, 2e édition

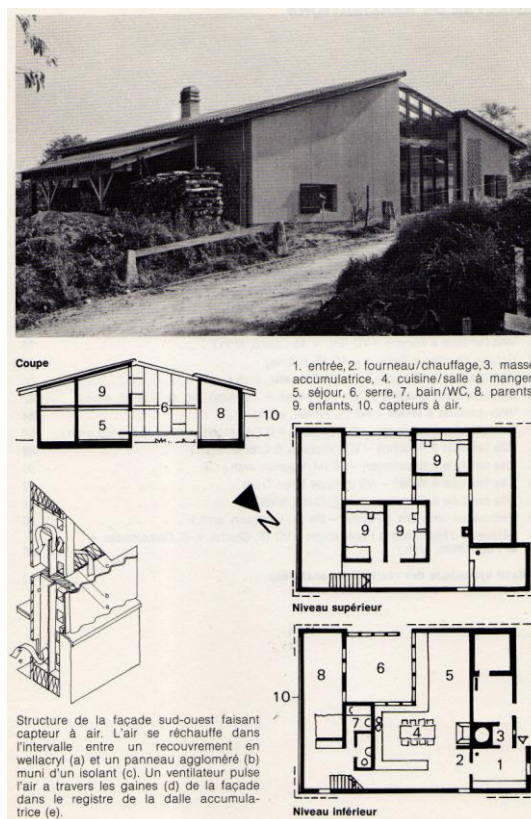


Figure 2 : Villa familial, J et P. GYGAX HALEN EN 1977. C'est un exemple de l'architecture thermique. La façade sud-ouest fait capteur à air, l'air se réchauffe dans l'intervalle entre un recouvrement en wellacryl et un panneau aggloméré mini d'une isolation. Un ventilateur puise l'air à travers les gaines de la façade dans le registre de la dalle accumulatrice. Source ; CHICHE. P et HERZEN. M, Architecture et démarche énergétique, Suisse : éd, J.-R. MULLER-ORBE, 1985, P 68.

L'énergie et la culture

Dans cette recherche, nous avons choisi des équipements culturels en nous fondant sur les hypothèses émises par Roberto Gonzalo et Karl J. Habermann dans *Architecture et efficacité énergétique : Principes de conception et de construction*¹³ pour qui :

« Ces bâtiments doivent satisfaire à des exigences énergétiques très complexes : il leur fait garantir un confort intérieur pour les visiteurs et le personnel, mais aussi pour les objets exposés. Nous devons nous soucier en même temps de la température, du degré d'hygrométrie, de l'éclairage, des dispositifs de protection solaire et de la qualité de la mise en valeur des pièces ».

Il y a bien une spécificité des équipements culturels fondée d'abord sur l'esthétique, secondairement sur l'authenticité¹⁴. Les équipements culturels occupent la plupart du temps des édifices monumentaux et patrimoniaux. Le ministère de la Culture est jeune¹⁵, il dépense beaucoup mais rapporte peu à l'État, aussi doit-il réduire en conséquence son train de vie et économiser l'énergie. La rénovation de bâtiments existants y est au moins aussi importante que les travaux neufs. Les mesures de réhabilitation doivent respecter les règlements de protection du patrimoine. La question à poser ici est : quels sont les moteurs probables du renouvellement, de la transformation de la « technique énergétique » dans les cas architecturaux étudiés, tous patrimoniaux ? L'énergie peut-elle jouir de l'esthétique ? Y a-t-il alors une esthétique de l'énergie ?

Les nouveaux matériaux et les progrès réalisés dans les équipements techniques jouent à cet égard un rôle important. Il faut aussi prendre conscience que les espaces d'exposition, les musées et bâtiments culturels abritent aussi diverses activités comme des boutiques, des restaurants, des locaux pour la recherche, l'administration, des salles de réunion, des locaux sociaux, des espaces de déambulation, beaucoup de lieux éclairés artificiellement, constituant une ville dans la ville : *the Museum of arts, das Deutsches Museum*, le Louvre. Du point de vue énergétique, leurs exigences sont bien entendu très différentes. La plupart de ces locaux ont les mêmes critères que les bureaux.

¹³ GONZALO, Roberto., et HABERMANN, Karl J. *Architecture et efficacité énergétique : Principes de conception et de construction*. Basel ; Boston ; Berlin : Birkhäuser, cop. 2008, traduit de l'allemand par Yves Minssart, 221 p.

¹⁴ CHOAY, Françoise. *L'allégorie du patrimoine*. Paris : Seuil, 1999, 277 p.

Problématique et méthode

Ici, la recherche fait le point sur les rapports des économies d'énergie, des techniques récentes dans le domaine de la construction et la conception des espaces, c'est-à-dire l'architecture. Les bâtiments publics, neufs, rénovés ou restaurés sont l'image que l'État veut donner de ses prises de position. S'occuper des économies d'énergie dans des bâtiments publics, c'est montrer l'intérêt que l'État manifeste vis-à-vis du secteur public. Dans ce ministère nous avons choisis trois monuments : le Centre Beaubourg, l'Institut du Monde Arabe et le musée d'Orsay.

Comment les aspects sociaux et culturels influencent les décisions dans la gestion énergétique et les nouveaux moyens techniques appliqués à la construction des édifices ? L'économie d'énergie dans les constructions est-elle liée aux architectes ou aux ingénieurs spécialisés ? Les architectes sont-ils bien formés au génie climatique et à la physique du bâtiment ? Quand a-t-on commencé à avoir conscience de ce sujet dans les écoles d'architecture ?

Pour résoudre ces problèmes historiques, nous abordons dans la première partie le point de vue technique et architectural en établissant des relations entre l'architecture, l'hygiène et le confort thermique, puis entre l'enveloppe et le chauffage et l'économie d'énergie. On privilégie les aspects culturels de la diffusion, ou le non diffusion des inventions en nous focalisant sur le chauffage central appliqué dans un premier temps aux prisons et aux hôpitaux, espaces de relégation qui donnent une image défavorable pour son adoption domestique. On s'intéressera à la création de la Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain, la CPCU. Parmi les pays européennes, la France est la nation la plus mal placée du chauffage urbaine. Les villes des pays anciennement communistes sont chauffées totalement par ce procédé quel est de loin le plus économique. Les Pays-Bas, le Danemark sont chauffés à 80% l'Allemagne est à 70% et la France à environ 20%.

Dans la deuxième partie, nous étudions le problème énergétique du point de vue politique et réglementaire à l'échelle européenne puis française. La Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier (CECA) est particulièrement sensible à la question énergétique. Rappelons les recommandations concernant la consommation de charbon en 1958 : la CECA demande tout d'abord aux gouvernements de mettre en œuvre une politique de stockage, en aidant les entreprises à constituer des stocks dans le but de stabiliser la production et l'emploi.

¹⁵ Il est fondé par André Malraux en 1959.

Elle recommande aussi une modification de la politique commerciale des États membres : remplacer dans la mesure du possible les importations de charbon de pays tiers par des importations de charbon de la Communauté. Dès les années 1970, l'augmentation du prix du pétrole ouvre le débat sur la consommation des ressources énergétiques dans les pays européens, comme dans tous les pays industriels. Dès lors, les textes traduisent la volonté de réduire la consommation énergétique et encourage l'innovation technique et les changements de comportement domestique, voire collectif. Des sondages d'opinion dans les pays de l'Union européenne sont organisés régulièrement et montrent la différence entre les mesures prises dans chaque pays. En France, comme au Royaume-Uni et en Allemagne, la consommation énergétique est placée au cœur des politiques nationales. La première loi relative à l'économie d'énergie en 1974 se développe au fil du temps et renforce ses exigences. L'analyse des sondages d'opinion, des débats à l'Assemblée Nationale et des revues spécialisés (les *Cahiers Techniques du Bâtiment*, les *Cahiers du CSTB*, *Le Moniteur des Travaux Publics*) construit notre approche sommaire des politiques européennes d'économie d'énergie et une approche plus approfondie de la politique française comme du rôle des expérimentations. L'objectif est la maintenance et la qualité architecturale pour l'économie d'énergie.

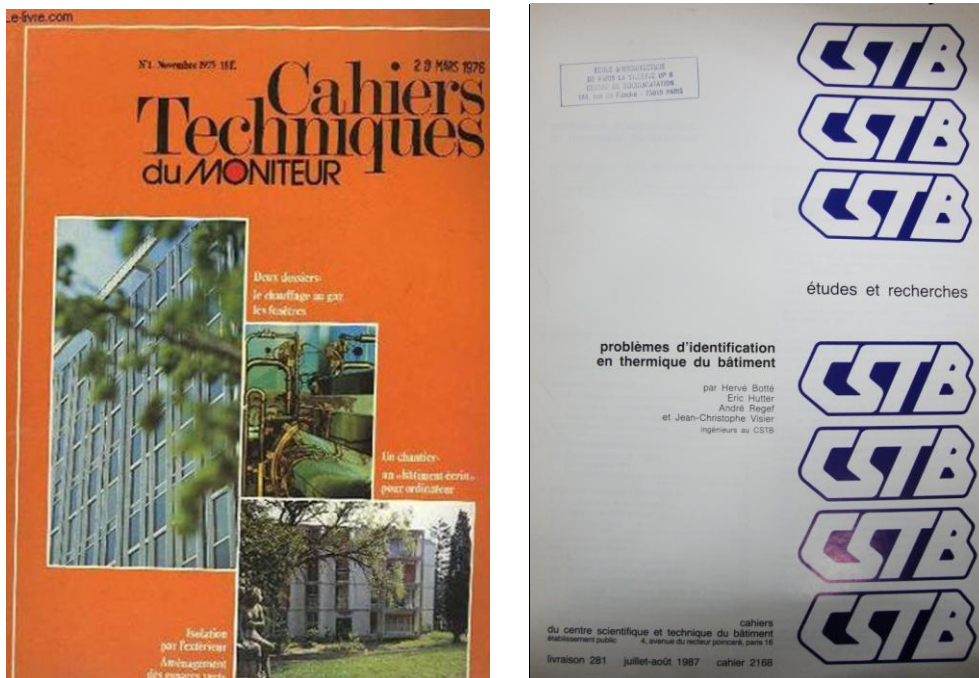


Figure 3 : Cahiers Techniques du Moniteur. N°1 : Le chauffage au gaz, Les Fenêtres - Un chantier : un "bâtiment'écran" pour ordinateur - Isolation par l'extérieur - Aménagement des espaces verts, 29 mars 1976. ; « Problèmes d'identification en thermique du bâtiment », Cahiers de CSTB, n° 2168, Juill-août 1987.

Plusieurs raisons nous conduisent à réfléchir à l'intérêt technique. D'abord, par discipline, « L'histoire des techniques consiste justement à mettre en évidence la logique propre de l'évolution des techniques. Celle-ci en effet s'effectue avec une logique interne qui est un phénomène bien distinct de la logique d'évolution de l'histoire socio-économique »¹⁶. Elle consiste une discussion sur « techniques de production et des facteurs humains ». La savoir faire et l'évolution des techniques issu de la crise pétrolier peut nous aider à mieux comprendre le problème de la pénurie des sources d'énergie dans l'avenir. Les sources concernant l'énergétique des bâtiments « non résidentiel » sont rares. La majorité des études examine le secteur résidentiel. Le choix des bâtiments publics parisiens résulte entre autre de l'accès privilégié à des sources d'archives conséquentes¹⁷ et de la publication de ces exemples dans la presse technique et professionnelle. Parfois, ces bâtiments font l'objet, dès leur mise en service, d'études quantitatives et de tests ; devis d'installation, d'entretien, et budget combustibles sont également disponibles. Aussi la troisième partie analyse-t-elle des bâtiments monumentaux du ministère de la culture : le Centre Georges Pompidou, l'Institut du Monde Arabe et le Musée d'Orsay. La consommation énergétique de chaque bâtiment dépend d'abord de sa conception et ensuite de sa vie. Après une étude historique (contexte, architecture, construction, insertion urbaine), nous approfondissons les techniques et l'énergétique selon les différents stades d'évolution du bâtiment. Nous appliquons des indicateurs mesurables à ces différents stades. Nous testons les possibilités de transposition de méthodes de diagnostics existants dans les pratiques professionnelles actuelles. A partir de ces indicateurs, rassemblés en différents thèmes, des extrapolations prospectives sont menées. Quatre thèmes guident nos recherches : chauffage, ventilation, éclairage, production d'eau chaude sanitaire.

L'objet « énergie » état de lieu

L'énergie¹⁸ est un enjeu politique, économique et stratégique, et de ce fait, elle fait l'objet de nombreuses études, dont l'analyse complète dépasse le cadre de cette recherche.

¹⁶ DAUMAS, Maurice. *Histoire générale des techniques*. Vol. V, Introduction : xxiii ; DAUMAS, Maurice. « L'histoire des techniques : son objet, ses limites, ses méthodes ». In: *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*. 1969, Tome 22 n°1. pp. 5-32.

¹⁷ Ces archives sont inexistantes en Syrie. On vient de commencer depuis quelques années de chercher des solutions « durables » pour la construction.

¹⁸ Le mot *energy* rentre dans le vocabulaire technique de la science en 1807, introduit par le physicien et linguiste anglais Thomas Young (1773-1829) mais c'est William Thomson qui propose d'employer *energy* au lieu de « force » en 1850. Par contre, le mot « énergie » n'apparaît pas avant 1875 dans la littérature scientifique française, Le mot « énergie » concerne, au premier temps, que « des phénomènes purement mécaniques, sans

Dans la mythologie indo-européenne on assimile souvent l'origine de l'énergie au feu, tandis que l'eau est l'origine de la matière. Ainsi, Luis Fernandez-Galiano reconstruit la relation historique, théorique entre l'architecture et l'énergie dans son ouvrage *Fire and Memory on Architecture and Energy*¹⁹ où il considère l'architecture solaire active de *helio-engineering* comme une expression contemporaine de la grande tradition « mécanico technologique » que Normand Foster, Richard Rogers ou Renzo Piano, qui utilise ce type d'architecture dans son projet du Centre Pompidou. Ce projet est considéré comme le successeur digne de la « machine à habiter » de Le Corbusier par l'expressivité de la machine dans sa conception (dans les lames, les tours de métal et les pompes)²⁰.

Fernandez-Galiano définit trois types d'architecture énergétique : un actif, héliotechnique et architecture mécanique d'énergie. Une architecture passive, bioclimatique, organique représentant le côté optimiste du deuxième principe de la thermodynamique de Sadi Carnot (1796-1832) et finalement une architecture rééducatrice des supports et des langues qui sont aussi attentives à la turbulence d'énergie dans la dégradation de la matière et des informations, et ce qui constitue le visage pessimiste d'entropie.

Un autre exemple est le livre de Reyner Banham qui écrit en 1969 *the Architecture of the Well-Tempered Environment*²¹, ce livre est réédité en 1984. Dans cette dernière édition, Banham définit trois principaux modes de contrôle climatique : le *mode conservatif* qui utilise les matériaux, le *mode sélectif* qui agit sur les éléments architecturaux et le *mode génératif* qui recourt aux équipements.

De nombreuses productions d'anthropologues et de préhistoriens s'attachent à décrire la vie sociale autour du feu domestiqué mais aussi les fonctions de cuisson alimentaire, de protection du danger, d'éclairage et de production de chaleur²². Certaines se consacrent également aux techniques qui permettent de reproduire le feu et notamment les outils élaborés

production ni absorption de chaleur ». Pierre Simon de Laplace, astronome, mathématicien et physicien (1749 – 1827), et à Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794) mettent en place les premières mesures de *calorimétrie*. Ils « déterminèrent en 1782-84 une série de chaleurs spécifiques et de chaleurs de réaction ». BOBIN, Jean-Louis. *L'énergie de demain : technique, environnement, économie*. Les Essonne : Les Ulis (Essonne) : EDP sciences, 2005, p 35.

¹⁹ FERNANDEZ-GALIANO, Luis. *Fire and Memory on Architecture and Energy*. Cambridge: The Mit Press, 2000, XIII-326 p.

²⁰ *Ibid.*, p. 106.

²¹ BANHAM, Reyner. *The Architecture of the Wel-Tempered Environment*. Londres : The Architectural Press, 2^e édition, 1984, [1^{er} éd 1969], 319 p.

²² PERLÈS, Catherine. *Préhistoire du feu*. Paris - New York - Barcelone - Milan : Masson, 1977, 180 p. L'auteure fait le point des recherches, à l'époque, sur les certitudes des chercheurs sur l'importance de la découverte du feu et ses multiples fonctions dans la vie sociale, culturelle et rituelle des premiers humains.

et transmis par les premiers humains. André Leroi-Gourhan²³ est parmi les premiers à prendre en compte les transformations que l'humain fait subir à la matière et son action sur le milieu. Après lui, Robert Creswell²⁴ consacre, également, une partie de son travail à l'étude de la technique, qu'il ne dissocie pas de l'étude du feu, pour aboutir à l'humain.

Avec le progrès technique, les fonctions de protection et de chauffage demeurent, mais la source d'énergie se transforme. Avec l'industrialisation et ses découvertes majeures, le charbon, le gaz, le pétrole sont les nouvelles sources d'énergie. Dans les années 1970, ce sont les préoccupations environnementales et sociétales qui apparaissent à nouveau dans les sciences sociales. De son côté, Michel Raoult, dans son *Histoire du chauffage urbain*²⁵ explique le développement de la Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain (CPCU). Les livres d'André Bonhomme²⁶, notamment *Isolation thermique des bâtiments*, montrent tous les développements de la réglementation thermique et ces conditions sur l'enveloppe et les techniques de l'isolation thermique²⁷. Quant à Lisa Heschong, elle évoque dans *Architecture et volupté thermique*, la « thermique » comme condition nécessaire à la vie. En effet, sans un environnement conditionné thermiquement, la vie est impossible. Cependant, on différencie les conditions de vie et les conditions de confort.

« La fonction thermique d'un bâtiment pourrait être appréhendée comme un élément à part entière de la conception ; telle est l'hypothèse sur laquelle se fonde ce travail. Les qualités thermiques – chaud, froid, humide, aéré, rayonnant, douillet – constituent une part importante de notre expérience de l'espace ; elles influencent non seulement ce que nous choisissons d'y faire mais également notre sensation de l'espace »²⁸.

Elle estime que « les systèmes de contrôle de l'environnement tendent plutôt à être traités comme la Cendrillon de l'architecture ; seulement revêtus de leurs habits les plus simples, ils sont relégués dans les pièces sombres et remplissent les besognes ingrates qui servent à entretenir le style de vie élégant des autres sœurs : la lumière, la forme, la structure... »²⁹

²³Toute l'œuvre d'André Leroi-Gourhan pourrait servir de fond bibliographique pour l'étude du feu. Nous choisissons de mettre en exergue l'ouvrage suivant : LEROI-GOURHAN, André. *L'homme et la matière*. Paris : Albin Michel, 1943, 367 p.

²⁴CRESWELL, Robert. *Prométhée ou Pandore ? Propos de technologie culturelle*. Paris : Kimé, 1996, 393 p.

²⁵RAOULT, Michel. ... *Op, cit.*

²⁶BONHOMME, André. *Isolation thermique des bâtiments*. France : Moniteur, 1978, 726 p.

²⁷BANHAM, *op, cit.*

²⁸HESCHONG Lisa, *Architecture et volupté thermique*, Marseille : Éditions Parenthèses (traduction Hubert Guillaud), 1981, 92 p.

²⁹*Ibid.*,

En Grande Bretagne, Brenda Boardman, économiste à l'université d'Oxford, constate l'urgence d'apporter des solutions efficaces à l'augmentation de la consommation d'énergie³⁰. Elle considère que le secteur industriel, dépendant des lois du marché, ne tendra pas de lui-même vers plus d'efficacité énergétique et que les consommateurs ne seront pas à l'origine de changements³¹ ; les politiques publiques doivent montrer le chemin. Or, les mesures jusqu'alors privilégiées sont la hausse des prix de l'énergie comme moyen de tendre vers plus d'efficacité énergétique. Elle préconise donc une meilleure collaboration entre les institutionnels, les industriels et les distributeurs³².

Plusieurs thèses approfondissent aussi le rôle d'économie d'énergie dans l'architecture de XX^e siècle : celle de Jean-Pierre Traisnel³³ porte sur le métal, le verre et l'enveloppe, celle d'Amina Harzallah³⁴ sur l'architecture solaire, celle d'Emmanuelle Gallo³⁵ sur le chauffage. Les études sur l'habitat sont riches et approfondies. Mais le secteur de bâtiment non résidentiel ne reçoit pas la même importance comme l'évoque André Pouget à l'occasion du programme H2E 85³⁶. Un grand nombre de programmes de recherche accompagnent les objectifs de réduction des consommations d'énergie dans les bâtiments : application de l'énergie solaire, modélisation des transferts de chaleur dans les locaux.

Sources

Pour les trois étapes de la recherche nous avons utilisé principalement la technique d'observation documentaire. Nous avons réalisé ce travail à partir des fonds documentaires du CSTB, des archives contemporaines de France et les archives de l'Institut Français d'architecture et urbanisme. Les analyses de terrain, les recherches dans les archives privées

³⁰ BOARDMAN, Brenda. *DECADE: Domestic Equipment and Carbon Dioxide Emissions*. Second Year Report, Energy and Environment Programme, Environmental Change Unit, Oxford: University of Oxford, 1995, 175 p. BOARDMAN Brenda. "New directions for household energy efficiency: evidence from the UK". In: *Energy Policy*, vol. 32, 2004, pp. 1921-1933.

³¹ Elle nous rappelle à ce titre que si l'on déclare être concerné par le changement climatique, on ne crée pas toujours de lien entre des comportements plus sobres en énergie et une baisse significative des émissions de dioxyde de carbone.

³² BOARDMAN, Brenda., et FAWCETT, Tina. *Competition for the poor: Electricity competition and the fuel poor in Northern Ireland*. Report to OFREG, Environmental Change Institute, University of Oxford, 2002.

³³ TRAISNEL, Jean Pierre. *Le métal et le verre dans l'architecture en France du mur à la façade légère*. Thèse Sous la direction de André GUILLERME, université Paris 8 – Saint Denis, 3 avril 1997, 471 p.

³⁴ HARZELLAH, Amina. *Emergence et évolution des préconisations solaires dans les théories architecturales et urbaines en France, de la seconde moitié du XIX^e siècle à la deuxième guerre mondiale*. Thèse Sous la direction de Gérard HÉGRON, Nantes, Université de Nantes, 2007, 391 p.

³⁵ GALLO, Emmanuelle. *Modernité technique et valeur d'usage : le chauffage des bâtiments d'habitation en France*. Thèse Sous la direction de Gérard MONNIER, Université Paris I Panthéon Sorbonne, UFR Histoire de l'art et archéologie Formation doctorale en Histoire de l'art, 2006, 2 vol., 857 p.

³⁶ POUGET, *op, cit.*

de nos trois bâtiments ainsi que les entretiens avec les ingénieurs responsables de la gestion des bâtiments nous ont aidé à trouver des réponses sur la question sur les économies d'énergie dans le secteur du bâtiment non résidentiel. La période de consultation couvre le dernier quart du XX^e siècle.

Les cahiers du CSTB sont une source importante d'information concernant les trois étapes de recherche. Ils constituent « une sorte de journal officiel technique » qui recueille la mémoire de cette institution et une grande partie de l'histoire de l'industrialisation du bâtiment en France. Nous y trouvons le reflet de l'idéologie des techniciens, des industriels et des bureaucrates. Mais plus qu'une source sur l'idéologie, c'est également une source sur les éléments techniques.

Les revues technique et architecturale : Le moniteur des travaux publics et du bâtiment, Le cahier technique de moniteur, Technique et architecture et L'architecture d'aujourd'hui ou nous trouvons une mémoire complet des techniques et expériences de chantier.

Les textes officiels : « Les décrets et les arrêtés et les règlements thermiques », dans les textes réglementaires consolidés concernant le domaine d'économie d'énergie dans les constructions, cette une référence semble la plus importante.

Les recherches de l'ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie Établissement public à caractère industriel et commercial, placé sous la tutelle conjointe des ministères en charge de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, est en charge des technologies vertes et des négociations sur le Climat et de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. L'ADEME participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable, pour cela c'est une source important dans notre étude.

PUCA : Le Plan Urbanisme Construction Architecture (PUCA), depuis sa création en 1998, développe à la fois des programmes de recherche incitative, des actions d'expérimentations et apporte son soutien à l'innovation et à la valorisation scientifique et technique dans les domaines de l'aménagement des territoires, de l'habitat, de la construction et de la conception architecturale et urbaine.

CDU : Centre de Documentation de l'Urbanisme, pôle associé à la Bibliothèque nationale de France, Il constitue le pôle documentaire sur les thèmes de l'urbanisme et de l'habitat pour le compte des services de l'État et au service des collectivités territoriales, des professionnels publics et privés, des écoles et des universités.

AFNOR : Association Française de Normalisation : AFNOR Normalisation a la mission d'intérêt général d'être l'opérateur central du système français de normalisation. Sa vocation est d'anticiper le besoin en normes et d'assurer leur adéquation constante aux marchés.

Les Cahier de l'ITBTP : est l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics qui statue sur le cahier des charges des normes de construction et des ouvrages de travaux publics.

INPI : Institut National de la Propriété Industrielle, est un établissement public, entièrement autofinancé, placé sous la tutelle du ministère du Redressement productif et de la Ministre déléguée chargée des Petites et moyennes entreprises, de l'Innovation et de l'Économie numérique. Il délivre les brevets, marques, dessins et modèles et donne accès à toute l'information sur la propriété industrielle et les entreprises. Il participe activement à l'élaboration et à la mise en œuvre des politiques publiques dans le domaine de la propriété industrielle et de la lutte anti-contrefaçon.

L'INPI : L'INPI est un établissement public, entièrement autofinancé, placé sous la tutelle du ministère du Redressement productif et de la Ministre déléguée chargée des Petites et moyennes entreprises, de l'Innovation et de l'Économie numérique. Il délivre les brevets, marques, dessins et modèles et donne accès à toute l'information sur la propriété industrielle et les entreprises. Il participe activement à l'élaboration et à la mise en œuvre des politiques publiques dans le domaine de la propriété industrielle et de la lutte anti-contrefaçon.

Première partie
Outils énergétiques et architecture

Chapitre 1: Architecture, hygiène, confort et économies d'énergie :

<u>Chapitre 1: Architecture, hygiène, confort et économies d'énergie :</u>	41
<u>L'architecture hygiéniste</u>	43
<u>Nouvelles approches architecturales :</u>	49
<u>Des recherches pour une architecture économe en énergie</u>	58
<u>5000 maisons solaires : aspect et résultats</u>	59
<u>Technique nouvelle de la serre :</u>	60
<u>1981 Le concours « école économes en énergie » :</u>	64
<u>Le solaire source renouvelable de l'énergie</u>	66
<u>Nouvelle technique, nouveau vocabulaire :</u>	67
<u>L'invention solaire en France après 1974 :</u>	69
<u>Conclusion</u>	71

Nous tentons d'analyser d'abord les liens entre hygiène et architecture au XIX^e siècle, et leur rôle dans le développement du confort, puis d'aborder la question de l'hygiénisme au XX^e siècle dans l'architecture solaire et de mettre en valeur son rôle dans l'économie énergétique.

Né au XIX^e siècle, l'hygiénisme constitue un élément important dans « l'idéologie urbaine³⁷ ». La constitution d'un savoir sur l'hygiène publique s'est formée au cours de nombreuses étapes. Le puissant ouvrage de Louis Chevalier, *Classes laborieuses, classes dangereuses*³⁸ et plus récemment Yankel Fijalkow, dans son livre *La construction des îlots insalubres* montre que le développement de ce savoir a commencé par les épidémies de choléra de 1832 et 1848-1849, puis par la loi du 13 avril 1850 sur les logements insalubres suivie du décret du 26 mars 1852 relatif aux rues de Paris³⁹. Cette loi relative à l'insalubrité est l'aboutissement de nombreux efforts en faveur du contrôle sanitaire, de la prophylaxie et de l'hygiène publique. Jusqu'au milieu du XIX^e siècle, les hygiénistes emploient des méthodes tout aussi opérationnelles que celles utilisées en technologie ; ils savent qu'il faut lutter contre la saleté et ils s'aperçoivent que la lutte contre l'infection ne peut se résoudre par la seule hygiène individuelle : il devient évident que l'hygiène collective est liée au progrès social ; malheureusement, à l'époque, ils ne disposent pas de moyens suffisants et de notions scientifiques assez précises pour étayer leurs thèses⁴⁰.

Des interventions pour lutter contre l'infection se sont traduites par la ventilation, l'aération et la lumière naturelle, pour améliorer la salubrité urbaine. Elles se traduisent par la minéralisation des surfaces : comblement des fossés, canalisation des cours d'eau, renouvellement périodique du crépi des murs, mise en place des trottoirs et aussi, surtout le

³⁷ PÉNEAU, Jean-Pierre. *Quelles éléments sur l'aérisme et l'ajustement climatique de la ville au siècle des Lumières*. Thèse de doctorat sous la direction de Jean DHOMBRES, Université de Nantes, 1998, 478 p.

³⁸ CHEVALLIER, Louis. *Classes laborieuses et classes dangereuses à Paris dans la première moitié de XIX^e siècle*, Plon, 1958.

³⁹ Pris par Napoléon III sur proposition du baron Haussmann, préfet de la Seine, obligeait les constructeurs à déposer un plan en préfecture : si, dans les vingt jours, le préfet n'avait pas exprimé d'objection portant sur la salubrité du projet envisagé, les travaux pouvaient commencer. GÉRARD, Patrick. *Pratique du droit de l'urbanisme : urbanisme, réglementaire, individuel et opérationnel*. 5^e éd, Groupe Eyrolles, 2007, p 97.

⁴⁰ FIJALKOW, Yankel. *Op, cit.*

pavage des sols. L'eau qui s'écoule sur ces nouveaux revêtements doit permettre de drainer et d'emporter la saleté avec elle⁴¹. Se protéger contre les remontées, empêcher l'imprégnation du sol, enfermer les puanteurs sont des soucis permanents. Les réponses apportées pour isoler l'espace aérien des émanations telluriques sont précisément analysées par Sabine Barles⁴².

L'architecture hygiéniste

Jusqu'aux années 1880 les architectes français sont étrangers aux sciences de l'ingénieur⁴³ : mathématiques, mécaniques et à toutes les questions de chauffage et de ventilation qui y sont liées. Ces enseignements qu'on trouve à L'École des Ponts et Chaussées, l'École Centrale de Paris, l'Écoles du Génie à Metz, manquent totalement à l'école des Beaux-arts. Pour cela, dans les années 1860, plusieurs scientifiques, comme l'horticulteur Victor Charles Joly et le chimiste Château⁴⁴, mettent leurs connaissances relatives à la ventilation et au chauffage en faveur des architectes en espérant que le progrès dans l'aération d'habitation suivra celui des autres parties de la construction⁴⁵. Des études concernant le rôle thérapeutique du soleil sont menées aussi dès le XIX^e siècle dans plusieurs pays européens⁴⁶ et surtout en Allemagne pour des cures de plein air destinée surtout aux sanatoriums pour la convalescence des tuberculeux. Jean Bernard Cremnitzer⁴⁷ rapporte que c'est principalement en Allemagne que naît, entre 1850 et 1870, le concept de cure de plein

⁴¹ GUILLERME, André. *Le temps de l'eau ... Op, cit.*

⁴² BARLES, Sabin. *La ville délétère ... Op, cit.*

⁴³ En 1880, l'École Spéciale d'Architecture ESA est fondée par l'ingénieur Émile Trélat (1821-1907) ; En 1890, l'École Spéciale des Travaux Publics, du Bâtiment et de l'industrie ESTP est créé par Léon Eyrolles, conducteur des Ponts et Chaussées.

⁴⁴ CHÂTEAU Théodore, dans son livre, *Technologie du bâtiment*, en 1863, traite l'exposition et l'orientation des bâtiments, les conditions de salubrité intérieure, l'aire libre, l'éclairage, les matériaux de construction, la ventilation et les moyens de chauffage. CHÂTEAU, Théodore. *Technologie du bâtiment*. Paris : Librairie d'architecture de Bance, 1863, 2 vol.

⁴⁵ Le livre de JOLY, Victor Charles. *Traité pratique du chauffage, de la ventilation, et de la distribution des eaux dans les habitations particulières: à l'usage des architectes, des entrepreneurs, et des propriétaires* en 1869, explique, de manière simple, trois systèmes différents de la circulation de l'eau ; des perfectionnements qui contribuent au confort domestique ; avec une bibliographie de quelques ouvrages sur le chauffage et la ventilation.

⁴⁶ Le terme sanatorium apparaît en Angleterre vers 1842 et aussi en Allemagne dans la deuxième moitié du XIX^e siècle. L'objectif de la création des sanatoriums est celui d'éviter la contagion qui menace la société urbaine en isolant les malades. Dès les années 1860, les sanatoriums destinés au traitement des différentes formes de la tuberculose se multiplient en Allemagne, aux États-Unis et en Suisse et un peu plus tard en France.

⁴⁷ CREMNITZE, Jean Bernard. *Architecture et santé, Le temps du sanatorium en France et en Europe*. Paris : Picard, 2005, 161 p. Cette ouvrage est entièrement dédié au thème des sanatoriums, émergés du climat de lutte contre la tuberculose. L'auteur trace dans cet ouvrage une histoire globale allant du contexte, à la naissance et à la production massive de ce type de réalisations, qui connut son apogée avec une production de masse de 1920 à 1950.

air qui va être à l'origine d'une véritable révolution en matière d'institutions officiellement destinées à la guérison. Il est largement porté par l'institution internationale de la Croix Rouge à Genève, fondée officiellement il y a 150 ans, qui diffuse l'héliothérapie grâce à ses bulletins nationaux et internationaux et à sa participation aux expositions internationales dont la plus importante est celle d'Anvers en 1885. Le concept de la cure de soleil, contesté dès le début du XX^e siècle pour les formes les plus aiguës de la tuberculose pulmonaire. Elle trouve un nouveau développement en France après la Première Guerre Mondiale avec l'actinologie⁴⁸ développée par le Dr. Jean Saidman⁴⁹.

Les premières interventions des architectes concernant le problème de la salubrité ont lieu dans les « sanatoriums ». Au cours du XVIII^e siècle, les nouveaux hôpitaux sont appelés à devenir des miniatures de la cité hygiénique⁵⁰. Leurs bâtiments doivent être isolés, bien ventilés et chauffés, de manière à assurer à leurs résidents un air salubre (doté d'une fonction thérapeutique). La sècheresse, la pureté de l'air, des conditions favorables d'ensoleillement, de luminosité et surtout le climat de montagne, sont considérés, en plus de la cure diététique, comme les facteurs principaux de guérison et essentiellement de la tuberculose pulmonaire⁵¹. Enfin, Cremnitzer relève le transfert des principes du sanatorium au logement. Cette transposition réalisée par les hygiénistes, médecins et architectes dès le début du XIX^e siècle, englobe certains des éléments caractéristiques de l'architecture sanatoriale, qui sont : les gradins-terrasses, la ventilation naturelle, les balcons en saillie, la peinture blanche, de grandes surfaces vitrées et une orientation plein sud des espaces.

Les architectes engagent également la question de salubrité à l'échelle urbaine, surtout pour l'hygiène, l'aération et l'ensoleillement. Les conceptions médicales attribuent à l'air une fonction thérapeutique. L'influence des théories d'aérations sur l'architecture et l'urbanisme

⁴⁸ Science qui étudie les propriétés curatives des rayons solaires.

⁴⁹ Concepteur de solariums tournants. Il fonde l'Institut d'actinologie en 1926 et plus tard l'Institut Héliothérapie en 1935, qu'il décrit conçu « avec un maximum de lumière pour les malades, un maximum d'aération, les chambres et salles donnent sur des balcons qui ne servent pas à faire de l'héliothérapie, celle-ci devant être faite exclusivement par des méthodes scientifiques ». Cette description donnée par le Dr Saidman symbolise en quelque sorte la fin de l'héliothérapie classique et donc du principe de la cure naturelle de soleil. Cremnitzer évoque ainsi le passage qui s'est opéré de la cure de lumière solaire à la cure de lumière artificielle, en expliquant le rôle devenu superflu des terrasses dans ce dernier cas.

⁵⁰ ETLIN, Richard. L'air dans l'urbanisme des Lumières, In : *Dix-Huitième siècle*. Le sain et le malsain, n°9, 1977, p. 123-134 ; HARZELLAH, Amina. *Emergence et évolution des préconisations solaires dans les théories architecturales et urbaines en France, de la seconde moitié du XIX^e siècle à la deuxième guerre mondiale*. Thèse de doctorat, Nantes, Université de Nantes, 2007, 391 p. PRINGLE, John. *Observations sur les maladies des armées dans les camps et les garnisons*. Paris, trd. Fourcroy, 1771, 2 vol est un des tout premiers à associer architecture à la médecine.

des Lumières est démontrée par Jean-Pierre Péneau⁵². Il montre qu'il est désormais question d'interventions sous forme « d'ajustements » de la forme urbaine aux conditions de salubrité⁵³. Pour supprimer les obstacles physiques à la ventilation, urbanistes et architectes choisissent d'ouvrir de longues rues, droites et larges, bordées de bâtiments de peu de hauteur. La recherche d'une meilleure circulation de l'air constitue un axe important de la salubrité. Une bonne ventilation et un renouvellement régulier permettent de dissiper les vapeurs émanant du sous-sol ou des dépôts de surface.

Parallèlement, une culture anti-urbaine, nostalgique et passéiste est développée dans la deuxième moitié du XIX^e siècle en Allemagne, à laquelle se sont ralliés de nombreux architectes. Ceci concentrent leurs investigations sur l'idée d'une société nouvelle hors des villes existantes, où règnent l'hygiène, la santé et le contact avec le paysage naturel⁵⁴. La haine de la grande ville se prolonge sous la république de Weimar⁵⁵. Nous trouvons sa source dans les travaux très largement diffusés de W. H. Riehl. Le courant anti-urbain prend toute sa mesure à la fin du siècle, au moment où l'urbanisation de l'Allemagne battait son plein⁵⁶.

« La pensée dominante rend les grandes villes contemporaines responsables du Déclin de l'Occident, selon le titre de la synthèse anti-urbaine dans l'immédiat après-guerre par Oswald Spengler. La ville y est tenue pour responsable de tous les maux frappant la société moderne : abâtardissement et communautaires, désagrégation de la famille, perversion des valeurs... ».

Christine Mengin montre le rôle des fondateurs de la Gagfah ? qui se font clairement l'écho de cette idéologie anti-urbaine, elle cite un extrait de la brochure écrite par Hans Bechly et Hermann Frank en 1917, et repris par Bechly⁵⁷ dans sa préface au recueil publié en 1928 pour les dix ans du Gagfah :

« Le responsable de tous les phénomènes de dégénérescence dans la vie de notre peuple est essentiellement la grande ville avec ses casernes à loyers. Si l'on veut fortifier la

⁵¹ HARZELLAH, *op.cit.*

⁵² PÉNEAU, Jean-Pierre. *Quelles éléments sur l'aérisme ... Op, cit.*

⁵³ *Ibid.*,

⁵⁴ FIJALKOW, Yankel. *La construction des îlots insalubres, ... Op, cit.*

⁵⁵ SCHUBERT, Dirk. Romantisme agraire et hostilité à la ville de l'urbanisme de l'entre-deux-guerres. In : *Les cahiers de la recherche architecturale*, n°9, janvier 1982, pp. 72-81.

⁵⁶ MENGIN, Christine. *Guerre du toit et modernité architecturale : loger l'employé sous la république de Weimar*. Paris : Publications de la Sorbonne, 2007, 540 p ; le livre de Salomon Joëlle explique le développement du sentiment anti-urbaines en Suisses : SALOMON-CAVIN, Joëlle. *La ville mal-aimée. Représentations anti-urbaines et aménagement du territoire en Suisse : analyse, comparaisons, évolution*. Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes, 2005, 236p.

⁵⁷ *Ibid.*, 274.

force des mœurs au sein du peuple allemand, il faut donner aux masses urbaines la possibilité de revenir à un contact durable avec la nature ».

L'hygiénisme du XXe siècle

Au début du XXe siècle, en France, avec la création en 1905 de l'Association Générale des Hygiénistes et Techniciens Municipaux AGHTM, l'hygiénisme devient un lieu de la pratique, ouvert aux architectes et ingénieurs. Cependant, Jean-Pierre Traisnel montre dans sa thèse que, dans les années 1930, la place offerte à l'hygiène des habitations dans la formation des architectes à l'École de Beaux-arts se limite à la présentation de la loi sanitaire de 15 février 1902⁵⁸ qui impose des règlements codifiant la surface des percements, la forme des ouvertures des pièces et la taille des cours d'immeubles. On trouve la même situation dans l'enseignement de l'École spéciale d'architecture, l'École nationale des Ponts et chaussées, l'École Spéciale des Travaux Publics et l'École Centrale des Arts et Manufactures⁵⁹.

Un exemple de l'architecture hygiéniste de cette période est l'école en plein air de Suresnes créée par Eugène Beaudouin (1898-1983) et Marcel Lods (1935-1936) en 1935. Les classes sont dotées de trois façades entièrement vitrées et surtout repliables. Le bâtiment reprend en intégralité de nouvelles idées développées autour du meilleur cadre pour l'éducation des enfants. Ces idées concernent la lumière, l'air et le soleil qui sont prise en compte dans la conception du bâtiment (figure 4). Les pavillons de classe peuvent accueillir chacun trente enfants. On y accède par la galerie couverte. Leurs dimensions sont de 8,80 x 6,00 m ; leur hauteur de 4,00 m. Chaque pavillon a trois côtés vitrés (sud, est et ouest) intégralement ouvrables par des portes en accordéon. Il est chauffé par le sol, sous le dallage de quartzite ; un système de chauffage à air chaud remonte le long des parois vitrées par des bouches situées sur le pourtour du pavillon.

⁵⁸ Loi du 15 février 1902, Loi relative à la protection de la santé publique, In : Journal Officiel du 19 février 1902.

⁵⁹ TRAISNEL, *op. cit.*, p. 99 ; Pour l'ESTP, Vacher, Hélène, HDR EHESS, (tutorat André Grelon), 1008, en cours de publication, Eyrolles, 2014.



Figure 4 : École en plein air de Suresnes, d'Eugène Beaudouin (1898-1983) et Marcel Lods (1935-1936), 1932-1936. Vue extérieure sur les pavillons. Cliché anonyme. Non daté. Fonds Eugène Beaudouin. SIAF/Cité de l'architecture et du patrimoine/Archives d'architecture du XXe siècle/ADAGP 2011. 008 IFA.

Le point de vue des hygiénistes, adopté dans l'urbanisme de la Reconstruction, après la Seconde Guerre Mondiale adopte largement la ventilation naturelle des pièces, ou mécanique pour les espaces publics comme les hôpitaux⁶⁰. Ou les cinémas, l'économie d'énergie, d'abord dans les baraques importées des Etats-Unis ou fabriquées en France pour accueillir les sinistrés, mais encore dans les constructions lourdes⁶¹. Cependant en 1946, l'ingénieur-architecte R. Leroux examine le rôle du facteur héliothermique du point de vue sanitaire :

« La lumière diffuse abondante est aussi efficace que la lumière directe. [...] L'habitat n'est pas un solarium. [...] le facteur héliothermique, s'il est une des bases de l'urbanisme sur lequel souvent on se guide pour une climatologie de l'habitation, n'apporte pas des arguments aussi décisifs pour la théorie de la construction que ceux apportés par la thermohygro-métrie⁶²». Il considère ainsi l'habitation « comme un dispositif permettant au système thermo-régulateur de l'individu de se régénérer et servant à atténuer la fatigue de l'organisme⁶³».

⁶⁰ BANHAM Reyner cite en exemple le Royal Victoria Hôpital, à Belfast -1903, architectes Hemman et Cooper- l'air, pulsé par des ventilateurs, est filtré à l'entrée par des rideaux de fibre de coco arrosés par des jets d'eau, puis chauffé par des batteries de serpentins à eau chaude. BANHAM, *op. cit.*, p. 75

⁶¹ GUILLERME, A., VACHER, H., FARES, k ; *L'industrialisation du bâtiment en France (1885-1960)*, (à paraître), 2014.

⁶² LEROUX, Robert. La climatologie de l'habitation. In : *Annales ITBTP*, 28 février 1946, Tours, Arrault, 1946, p. 10-11. 18 p

⁶³ LEROUX, *art. cit.* p. 10-16.

Pour les grands locaux, la ventilation est le plus souvent couplée au chauffage⁶⁴. Pour Le Corbusier, la paroi est exclue de la ventilation, il dit « Un jour, cette vérité apparaît : une fenêtre est faite pour éclairer, non pour ventiler ! Pour ventiler, employons des appareils de ventilation ; c'est de la mécanique, de la physique [...]. Si l'on pouvait d'un geste répudier la fenêtre, tout en éclairant les planchers ?⁶⁵ ».

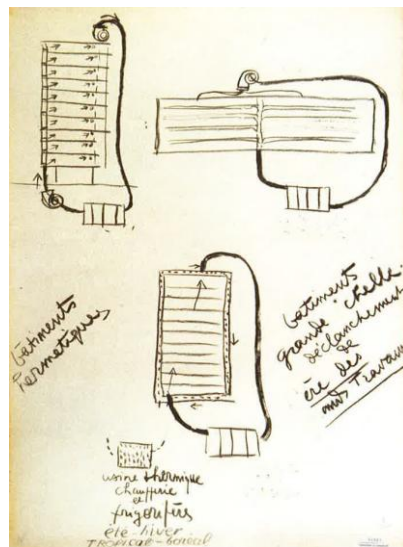


Figure 5: la Respiration Exacte et le Mur Neutralisant in Le Corbusier. Précisions sur un état présent de l'architecture et de l'urbanisme. Crès, Collection de "L'Esprit Nouveau", Paris, 1930.

Le verre doit isoler l'ambiance intérieure du climat extérieur, et pour cela Le Corbusier dissocie le contrôle thermique – par le chauffage et le refroidissement de la double paroi ventilée – du traitement de l'air – par l' « usine d'air respirable exacte » et la ventilation mécanique⁶⁶. Le Corbusier propose de dissocier les trois pôles de fonction : air, lumière,

⁶⁴ L'air chaud soufflé par des « aérothermes » (à ventilateur centrifuge, crée par d'Anthonay en 1879, a été appliqué au chauffage de l'ancienne bourse de Commerce de Paris et au Théâtre de Montpellier. VERON, Marcel. *Cent ans de thermique en France*. Rapport général pour la section "Thermique" présenté au Congrès du centenaire de la Société des ingénieurs civils de France, le 2 juin 1949, Hôtel de la Société, 1950, 35 p.

⁶⁵ LE CORBUSIER. *Précisions, sur l'état présent de l'architecture et de l'urbanisme*. Paris : Crès, Collection de "L'Esprit Nouveau", 1930, 56 p. Il aborde la question des matériaux et de leur mise en œuvre en plasticien plus qu'en technicien. Curieux et inventif, il s'intéresse à tous les matériaux, qu'il a tous, un jour ou l'autre, expérimentés autant pour des raisons esthétiques que techniques. Le Corbusier a l'intuition de la solution technique qui convient, tant pour les matériaux modernes que traditionnels, mais il prend rarement le temps d'en apprécier les possibilités réelles comme les contraintes de mise en œuvre. Adeptes du taylorisme, fasciné par l'industrie, il se révèle incapable de conduire correctement un chantier, ouvrant à la critique une brèche qu'elle ne manqua pas d'exploiter.

⁶⁶ Les premières réalisations de séparation entre la ventilation et le contrôle thermique sont apparues dans les projets du Palais des Nations à Genève dès 1927, puis du Centrosoyus – l'Union centrale des Coopératives de Consommation – à Moscou l'année suivante. Or, les autorités russes n'ont pas accepté d'appliquer le principe de la "respiration exacte" qui avait été imaginé spécialement à l'occasion de la construction de ce Palais. La

chaleur ce qui n'est pas sans effet sur la performance finale. Cela consiste, pour garder une température intérieure de 18°C, à séparer le circuit de ventilation et celui du chauffage. Le taux de ventilation est seulement défini par la respiration des occupants, tandis que toute la charge thermique – déperditions par les parois, apports solaires, apports internes – repose sur la circulation de l'air dans les parois. Ici, « la maison est hermétique ! Nulle poussière désormais n'y pénètre. Ni mouches, ni moustiques. Pas de bruit !⁶⁷ ». L'obsession de l'hygiène l'emporte sur la conception climatique : le pan de verre scellé doit isoler le bâtiment aussi complètement que possible de son environnement immédiat – la rue, mais la rue doit aussi disparaître – comme les pilotis l'isolent du sol. La première application réelle pour Le Corbusier de cette technique et dans les façades de la Cité du Refuge de l'Armée du Salut. Au cours des années Soixante, des dispositifs particuliers sont développés au laboratoire CNRS d'Odeillo (Pyrénées-Orientales), sous forme de capteurs à air intégrés en façade, puis de mur doublé d'un vitrage, avec lame d'air ventilée (brevet Trombe-Michel). Nous allons développer cette période dans le chapitre suivant.

Nouvelles approches architecturales :

Dès la deuxième moitié du XXe siècle, de nouvelles approches architecturales sont mises en avant par les architectes et les ingénieurs. Les économies d'énergie prennent une place aussi importante que l'hygiène dans la construction. Les dispositifs de production du confort sont multiples et relatifs dans l'architecture, comme le montrent Amos Rapoport⁶⁸, ainsi que Reyner Banham pour l'architecture des XIX^e et XX^e siècles⁶⁹. Nous observons ainsi une véritable traduction architecturale des phénomènes énergétiques⁷⁰. L'impact du développement des techniques environnementales sur le bâtiment, ainsi que leur relation avec l'architecture est étudié par Reyner Banham en 1969 dans son livre *the Architecture of the Well-Tempered Environment*. Le maître ouvrage de Banham à l'immense intérêt d'être publié avant la crise pétrolière et d'être réédité peu après, nous avons ainsi un regard d'expert qui réfléchit au présence de la crise pétrolière. Il met à jour la première édition en ajoutant quelques exemples (références) construites après la crise pétrolière de 1974, comme

solution eut été beaucoup plus nette, franche ; les vitrages des façades, purs. Il a fallu attendre la construction de la Cité de Refuge de l'Armée du Salut pour pouvoir appliquer, pour la première fois, le système de la respiration exacte dans des bâtiments hermétiques.

⁶⁷ *Ibid.*,

⁶⁸ RAPOPORT, Amos. *House Form and Culture*. Englewood Cliffs : Prentice-Hall, Inc, 1969. p. 162.

⁶⁹ BANHAM, *op. loc.*

Beaubourg, ainsi que, les architectures traditionnelles et la gamme de solutions énergétiques naturelles qu'elles proposent⁷¹. Il définit les trois principaux modes de contrôle climatique : le mode conservatif, le mode sélectif et le mode génératif.

Les modes de contrôle climatique selon Banham :

Le mode conservatif : nous distinguons, selon Banham, deux formes de ce mode. La forme « massive », qui joue sur la régulation des flux de chaleur jour/nuit par stockage/déstockage dans les matériaux, comme la villa palladienne (figure 5). L'autre est une forme plus sophistiquée qui utilise la sélectivité du verre, transparent au rayonnement visible, et opaque au rayonnement infrarouge, associée au stockage de la chaleur dans les murs comme à la maison de verre et comme au « *Conservative Wall* » de Joseph Paxton en 1846⁷², mais qui doit utiliser intensivement des équipements pour garantir le confort (figure 6).

Le mode sélectif : ce mode rejette les conditions internes indésirables et admet les conditions désirables de l'extérieur, à l'exemple de la fenêtre, qui procure l'air frais et qui assure l'évacuation de l'air vicié, elle admet la lumière mais pas la pluie ni le vent.⁷³ (figure 7). Le mode conservatif convient à la plupart des climats secs, chaud ou froid, le mode sélectif se généralise partout où l'humidité est un problème

Le mode génératif fait appel à un contrôle mécanique ou énergétique de l'ambiance. Il se développe rapidement au cours du XIX^e siècle, notamment dans les constructions légères pour les armées coloniales et assurer leurs conquêtes⁷⁴, il est devenu dominant dans la deuxième moitié du XX^e siècle, comme le développement du climatiseur individuel et autres équipements. L'extension de l'usage des équipements transforme la maison en « *machine à habiter* »⁷⁵. Le *Hight Tech* est une plastique architecturale qui exalte les équipements en les plaçant à l'extérieur (figure 8).

⁷⁰ Quelle architecture solaire ... *Op, cit.*

⁷¹ L'intérêt soudain pour ces dernières s'explique par la crise pétrolière.

⁷² BANHAM, *op. cit.* p. 23.

⁷³ BANHAM, *op. loc.*

⁷⁴ GUILLERME, André, « International exhibitions in the late nineteenth century ... *Op, cit.*

⁷⁵ Le Corbusier, *Urbanisme*, Paris, Crès, 1925, p. 219.

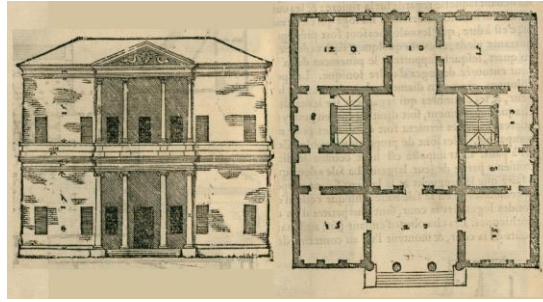
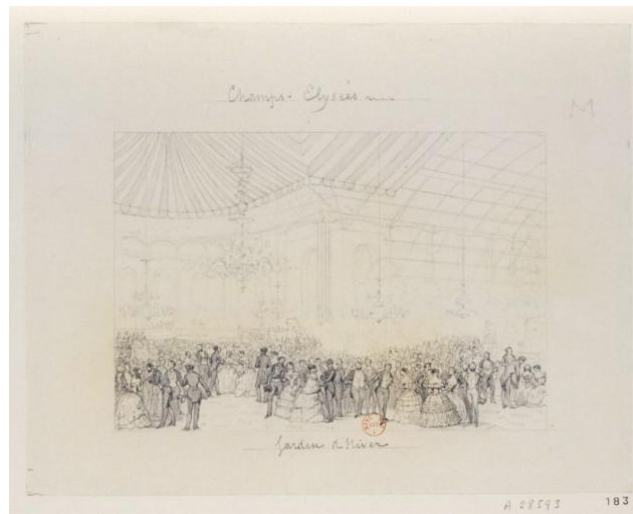


Figure 6 : Le mode conservatif de forme « massive » : Andrea Palladio, Projet de villa. Les Quatre livres de l'architecture d'André Palladio. Mis en François, Paris, E. Martin, 1650, p. 48. Cité par Frédérique Lemerle en « Vitruve, Vignole, Palladio au XVIIe siècle : traductions, abrégés et augmentations »



Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Figure 7: Le mode conservatif « sélectivité de verre » : Champs-Élysées. Jardin d'Hiver, Paris 1980.



Figure 8: Le mode sélectif : 1951 - Maison Tropicales à Brazzaville, République du Congo. Jean Prouvé. “Morphology: Jean Prouvé’s Prefabricated Houses over Time”, Lundi, 10 Decembre 2012. <http://maison-tropicale.blogspot.fr/2012/12/morphology-jean-prouves-prefabricated.html>, date de consultation, 10/03/2013.



Figure 9 : Le mode génératif, Centre George Pompidou.

La conservation de l'énergie, l'utilisation des énergies naturelles, la recherche d'un impact minimum du construit sur l'environnement, l'utilisation des ressources matérielles locales et la construction du bâtiment autonomes sont des thèmes courants dans les années 1970. Les recherches concernant un nouveau type d'architecture qui consomme moins d'énergie sont commencées aux États-Unis à la fois le plus important producteur et consommateur d'énergie. Pour limiter leur consommation, une stratégie énergétique est mise en place. Les recherches concernant l'énergie renouvelable et surtout l'énergie solaire sont développées dès le début de XX^e siècle. Les américains introduisent ainsi dans le langage une nouvelle terminologie concernant « l'architecture solaire », ils distinguent la « passive architecture » et l' « active architecture »⁷⁶. La « passive architecture » ou l'« architecture bioclimatique », est celle basée sur une conception globale de l'enveloppe sans faire appel à des équipements surajoutés ou plus exactement tendant à les limiter, et sans circulation forcée

⁷⁶ NICOLAS Frédéric., TRAISNEL Jean-Pierre, VAYE Marc, « USA », *Supplément au bulletin d'information inter-établissement*, n° 15, Mai 1976, Institut de l'environnement, Nanterre. Ce numéro est réalisé dans le cadre de l'action du Ministère de la Documentation Internationale sur la recherche architecturale, une quinzaine de maisons solaires passives sont analysées : la maison de David Wright a Santa Fe au Nouveau-Mexique ; celle de Richard Crowther a Denver et celle de Peter Wood a Colorado Springs ; le site de l'entreprise Zomeworks de Steve Baer a Albuquerque ; les travaux de Day Chahroudi au MIT.

de fluides. Par exemple, David Wright's House à New Mexico, maison entièrement « passive ».

L'« active architecture » ou l'« architecture solarisée »⁷⁷, laisse à part l'approche globale, en se focalisant sur les systèmes utilisant équipements et mouvements de fluides, capteurs, ventilateurs, pompes, etc... Un exemple en serait la Madeira School, conception de l'architecte Arthur Cotton Moore, à Virginia en 1975⁷⁸.

Ces définitions sont précisées par Frédéric Nicolas, Jean-Pierre Traisnel et Marc Vaye. Les auteurs distinguent les notions d'« architectures bioclimatiques » (technologie douce, architecture à systèmes passifs, conception totalement intégrée, faible coût de production, faible coût d'entretien et de fonctionnement) et « architectures solarisées » (technologie dure, architecture à systèmes actifs avec équipements séparés, coût élevé de production, coût élevé de fonctionnement et d'entretien). Les auteurs analysent thermiquement quelques exemples de maisons « passives » et de maisons « actives », notamment celles de Steve Baer et David Wright. Ils concluent en constatant que l'architecture solarisée basée sur l'utilisation d'équipements industrialisés s'auto-développera, alors que l'architecture bioclimatique, beaucoup moins rentable, risque de stagner.

Les recherches concernant les habitats autonomes sont particulièrement avancées en Grande-Bretagne au début des années 1970. Liées à la culture anglo-saxonne et au mode de développement urbain⁷⁹, ces recherches ont pour objectif de prouver qu'il est possible de concevoir des habitats entièrement autonomes au niveau énergétique en utilisant les ressources naturelles et des dispositifs techniques appropriés. Le premier exemple britannique d'une construction en site urbain d'une maison écologique entièrement autonome énergétiquement se réalise par *Street Farmers* par Graham Caine et Bruce Haggart⁸⁰ en 1972, cette construction est détruite quelques années après. Construite en bois, la maison de Caine et Haggart, intègre une serre et un bassin d'aquaculture. Les déchets organiques traités dans un digesteur sont transformés en méthane pour la cuisine. L'électricité pour l'éclairage est

⁷⁷ *Ibid*,

⁷⁸ Quelle architecture solaire. *l'Architecture d'aujourd'hui*. N° 192, Septembre 1977, p 1-66.

⁷⁹ Le mode urbain britannique implique une très faible densité de type pavillonnaire.

⁸⁰ Graham Caine, Bruce Haggart et Peter Crump forme le group « the Street Farmers ». Ils ont une vision nouvelle de la ville. Dans leurs collages numéro 1 et 2 publié en 1972, ils montrent une vision révolutionnaire consistant à humaniser le paysage ; l'image surréaliste de bâtiments rongés et remplacés par la végétation, les instructions pour la fabrication d'une cabane dans les arbres et la description d'une maison écologique. DOWNTON, Paul F. *Ecopolis: Architecture and Cities for a Changing Climate*. Springer-Verlag, New York: Inc., 2009, p 155.

produite par des éoliennes semi-cylindriques et est stockée dans des batteries de camion situées dans la toiture. Le chauffage domestique de l'espace est assuré par des capteurs de style « roll bond ». Finalement, l'efficacité des différents systèmes ne peut pas être connue avec suffisamment de précision étant donné le manque d'observations dont nous disposons.

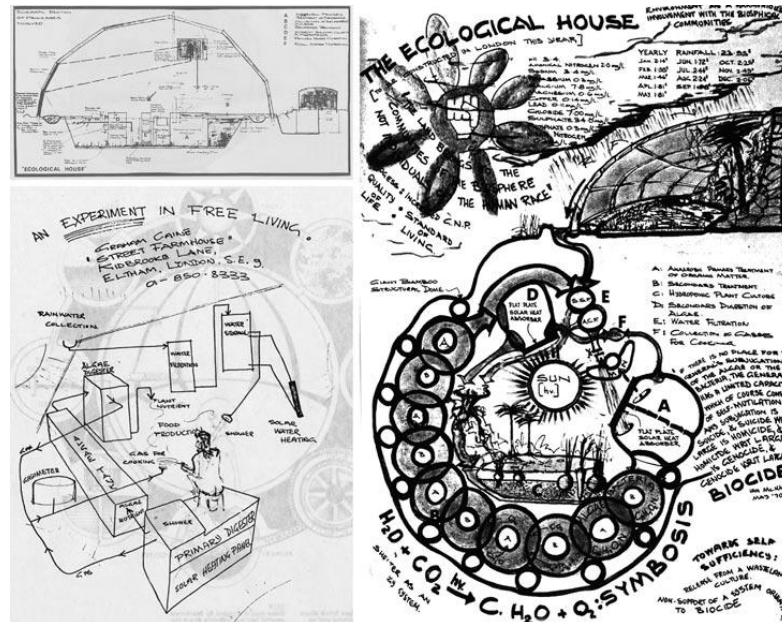


Figure 10 : Eco House in AD. Courtesy of Grahame Caine. Lydia Kallipoliti. "Return to Earth", Henry, Christopher. "The Cornell Journal of Architecture 8: RE" 24 Mar 2011. ArchDaily. Accessed 16 Jun 2012.

Des architectes français pour la bioclimatique :

En France, plusieurs exemples d'architecture bioclimatique sont réalisés dans les années 1970 grâce à l'engagement de quelques architectes et ingénieurs dans l'économie d'énergie et dans des opérations expérimentales. La révolution de mai 1968 et les crises pétrolières des années 1970 conduit à introduire l'approche environnementale dans l'enseignement de l'architecture pour la première fois⁸¹. Dominique Gauzin-Muller cite de l'architecte Pierre Lajus, pionnier de l'architecture éco-responsable :

« La dimension environnementale fait irruption dans l'enseignement de l'architecture en France à la faveur du grand brassage d'idées du mouvement étudiant de mai 68. Pour changer la société, il faut aussi changer son architecture, et l'orienter vers les idéaux et les nouveaux modèles de la contre-culture d'outre-Atlantique : architecture sans architectes, autoconstruction des charpentiers américains, redécouverte de la terre et du bois, habitat

⁸¹ GAUZIN-MULLER, Dominique. *Enseignement de l'architecture en France Comment intégrer une approche éco-responsable*. Rapport dans le cadre du projet européen EDUCATE, avril, 2010, p. 6. http://ensanantes.fr/view_PJ.cfm?file&fichier=Rapport_educate.pdf consulté le 10/04/2012.

solaire et conception bioclimatique. Le paysage apparaît aussi comme une nouvelle dimension de l'architecture.

Parmi les étudiants qui se font les porte-paroles de ces nouveaux courants, les plus ardents seront les leaders du mouvement de remise en question de l'enseignement de l'École des Beaux-Arts, avant de devenir eux-mêmes les enseignants les plus recherchés des Unités pédagogiques d'architecture (UPA) »⁸².

Nous citons ainsi les architectes enseignants : Georges et Jeanne-Marie Alexandroff et d'Alain Liébard à Paris, Patrice Doat à Grenoble, Jean-Louis Izard et Paul Quintrand à Marseille, Jean-Pierre Péneau à Nantes et Jean-Pierre Cordier à Toulouse, Jean-Pierre Epron à Nancy, qui influencent les nouvelles générations d'architectes en France. Ces pionniers organisent dans des groupes de recherche les premiers enseignements à dimension écologique.

La crise pétrolière, en 1973, pousse les pouvoirs publics à lancer des recherches sur le solaire auxquelles ces équipes participent. Plusieurs élèves architectes, de l'école des Beaux-arts et de l'École Spéciale d'Architecture s'intéressent alors à la construction solaire. Inspirés par l'architecture américaine, ils passent aux États-Unis des séjours pour recevoir une formation universitaire et s'informer des nouvelles technologies. Marc Vaye, Frederic Nicolas et Jean-Pierre Traisnel font partie de ces jeunes architectes spécialisés dans l'architecture bioclimatique et solaire. C'est en suivant l'enseignement de Georges et Jeanne-Marie Alexandroff, au sein d'Unité pédagogique n° 6⁸³, que les trois élèves commencent à s'intéresser plus sérieusement à l'architecture solaire. Ils partent aux États-Unis au cours de l'été 1973 pour y étudier ces techniques et ils produisent *La Face cachée du soleil*. Cette étude originale de 1974 contient des informations sur l'énergie solaire dans le domaine de

⁸² *Ibid.*,

⁸³ ALEXANDROFF, George. Liebard, Alain. *L'Habitat solaire, comment ?* Paris : l'équerre, 1979, 111 P ; ALEXANDROFF, Georges, ALEXANDROFF Jeanne-Marie. *Architectures et climats : soleil et énergies naturelles dans l'habitat*. Paris : Berger-Levrault, 1982. 384p. D'autres ouvrages peuvent être signalés tels que celui de l'Américain David Wright, *Soleil, nature architecture*, Marseille : Parenthèses, 1979. Il s'agit de la traduction de son ouvrage *Natural Solar Architecture : a passive primer*, New York, Van Nostrand Reinhold, 1978 (traduction française et adaptation de Pierre Bazan). Signe de l'intérêt croissant pour ces publications, la version française de l'ouvrage de David Wright a été rééditée en 2004 sous le titre *Manuel d'architecture naturelle*. Les premiers travaux du CORDA refléteront aussi la préoccupation écologique. BEDEL, M. CERON, M. NICOLAS, Frédéric. OLIVE, Gille. VAYE, Marc. *Pour une approche bioclimatique de l'architecture*. 1978 ; CANIN, F. DABAT, R. IZARD, Jean-Louis. SAUREL, G. *Architecture et données de l'Environnement. Méthodologie de la conception architecturale bioclimatique*. Marseilles, 1978 ; VIOLEAU, Jean-Louis. *Les architectes et mai 68*. Paris : Recherches, 2005, p. 471 ; ou encore les multiples recherches du Cerma (1973/80/82/83) relatives au « bioclimatique ».

l'habitat et devient par la suite une source pour l'architecture solaire en France.⁸⁴ Grâce à ce livre, Marc Vaye obtiens un poste d'enseignant à l'École Spéciale d'Architecture en 1977. Il fonde aussi, avec Frédéric Nicolas son cabinet d'architecture, appelé « la face cachée du soleil », actif jusqu'au début des années 1980⁸⁵. Ils ferment leurs agence accuse de la contre choc pétrolière dans les années 1980 qui annonce la fin de l'intérêt pour les recherches solaires. Jean-Pierre Traisnel entre au CNRS immédiatement, pour faire de la recherche sur le solaire, l'énergie et l'urbanisme durable.

Un autre architecte, Alain Liebard, spécialisé de l'énergie solaire, ð soutient son diplôme à l'Unité pédagogique n° 6 et devient par la suite un pionnier des énergies renouvelables. Il rappelle le début de l'intérêt des recherches solaires dans les années 1970. Il dit que

« à partir de 1973 jusqu'aux années 1980, l'envolée pour l'énergie solaire est notable. Il faut rappeler que la société des maisons Phénix avait des maisons solaires sur catalogue, et il s'en est construit un certain nombre. Également, les Caisses d'Épargne distribuaient, à tous leurs guichets en France, des triptyques publicitaires pour vendre un produit financier qui permettait aux particuliers d'acheter des chauffe-eaux solaires »⁸⁶.

A cette époque, Alain Liebard réalise les premières maisons solaires en France, à Toulouse-Blagnac. Il produit par la suite plusieurs livres sur l'architecture solaire et bioclimatique comme, *Architectures solaires* en 2009, *Le grand livre de l'habitat solaire* en 2007, *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques* en 2006, *Guide de l'architecture bioclimatique – Tome 2 – Cours fondamental : construire avec le climat*, en 1996.

⁸⁴ De la conservation de l'énergie à l'architecture bioclimatique, *Supplément au bulletin d'information inter établissement*, n°12 Février 1976, Institut de l'environnement, Nanterre. *La Face cachée du soleil* a permis à Marc Vaye, Frédéric Nicolas et Jean- Pierre Traisnel d'être reconnus comme les spécialistes des questions solaires. Ils sont ainsi sollicités par Gwénael Querrien, rédactrice en charge du *Bulletin d'information inter-établissements* de l'Institut de l'environnement pour produire plusieurs brochures consacrées a la conservation de l'énergie et a l'architecture bioclimatique ; NICOLAS, Frédéric. VAYE, Marc. Sun power et/ou save energy, In : spécial USA, *Supplément au Bulletin d'information inter-établissement*, n°15, mai 1976, 8 p. NICOLAS, Frédéric. VAYE, Marc. Énergie solaire et architecture. In : *Supplément au Bulletin d'information inter-établissement*, n° 22, mars 1977, 8 p. NICOLAS, Frédéric. VAYE, Marc. A l'heure solaire. In : *Supplément au Bulletin d'information inter-établissement*, n° 46, mars 1980, 10 p.

⁸⁵ Les deux architectes travaillent ensemble pendant sept ans jusqu'en 1980. Les questions solaires commencent à prendre une tournure purement réglementaire, normative, qui n'est pas dans leur sensibilité. Pour eux l'architecture solaire n'est pas un simple question d'économie d'énergie, celle ci est une méthode de conception.

⁸⁶ LIEBARD, Alain. Une vision d'énergies renouvelables. Comite 21 - Entretien avec Alain Liebard, président de la Fondation « Énergies pour le Monde », 9 octobre 2002. Consulté le 12 Decembre 2012.

http://www.comite21.org/docs/rencontres_debats/rd2002/liebard.pdf

Des architectes indépendants s'intéressent aussi à l'architecture solaire et bioclimatique dans les années 1970, comme Henri Mouette (1927-1995) qui, après obtenir son diplôme d'architecte à l'atelier Vivien en 1957 il commence aussitôt son travail au sein de l'Atelier d'architecture à Courchevel, qui prend en 1965 le nom d'Atelier d'architecture en montagne (AAM). Il collabore avec le sculpteur Pierre Székely à cette époque pour l'église à Courchevel et pour le centre familial de Chamrousse. Ensuite les deux artistes vont concevoir le village de vacances de Beg-Meil⁸⁷. C'est au moment de cette commande qu'Henri Mouette quitte l'Atelier d'architecture en montagne et s'installe près de son collaborateur Székely dans la région parisienne à Marcoussis. Passionné par l'architecture d'énergie solaire passive, il projette de nombreuses maisons climatiques. Au début des années 1980 il collabore de nouveau avec Pierre Székely, mais aucun projet ne verra le jour. Un de ces projets économe est l'école maternelle à Saint-Rémy-lès-Chevreuse. Construit en bois et achevé en 1984, son système thermique simple est originale conduit à une économie d'énergie de 30 %. Le bâtiment profite des apports solaires directs par ces façades verticales vitrées exposées au sud et au sud ouest. Les façades vitrées sont doublées d'une deuxième façade située à un mètre en arrière pour les classes et salles de jeux. Ces façades doublées sont équipées de simple vitrage, les autres façades sont à double vitrage. L'équipe de conception explique dans la description technique que :

Le renouvellement d'air extérieur de toutes les salles se fait par les doubles façades sud au moyen de bouches d'entrées d'air auto réglables, situées en partie basse de la façade extérieure et en partie haute de la façade intérieure. Ce dispositif apportera un préchauffage de l'air neuf et une diminution des déperditions par les parois vitrées de ces façades (isolation dynamique)⁸⁸.

Les apports solaires sont utilisés aussi pour économiser la consommation de chauffage. Le stockage est réduit au minimum. Ce stockage est constitué par une dalle pleine de béton de 15 cm d'épaisseur formant plancher du rez-de-chaussée et isolée dessous par un fibrastirne de 75 mm sur le vide sanitaire faiblement ventilé⁸⁹.

⁸⁷ Fonds Mouette, Henri (1927-1995). 250 Ifa, Fiche descriptive, Archiwebture Base de données d'inventaires du Centre d'archives de l'Ifa, http://archiwebture.citechailot.fr/fonds/FRAPN02_MOUHE. Consulté le 20/02/2011.

⁸⁸ Fonds Mouette, Henri. Notes descriptives, Dossier 250 Ifa 9/2. Avenant, convention avec la AFME, devis estimatif, notes...

⁸⁹ *Ibid.*,

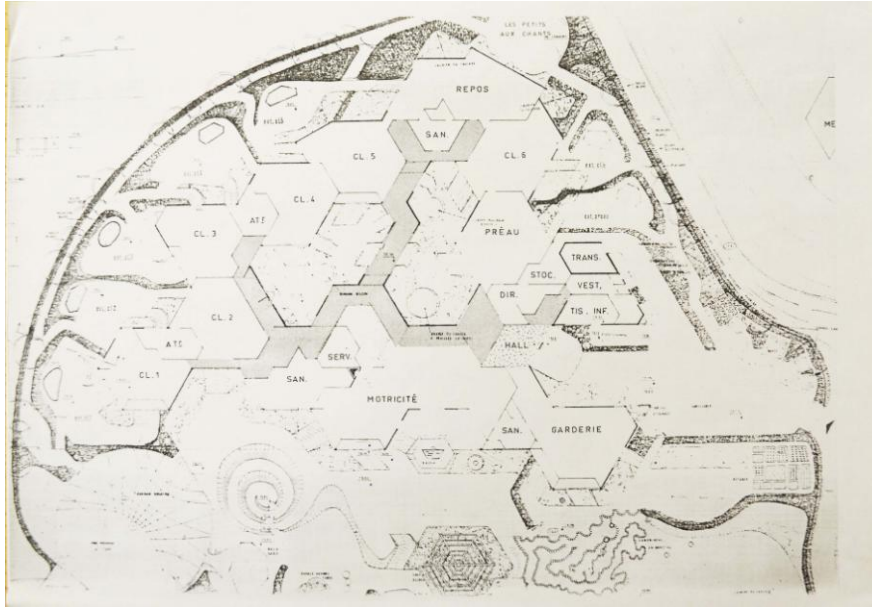


Figure 11 : école maternelle à Saint-Rémy-lès-Chevreuse 1980-1984, Georges Pedersen, architecte ; Henri Mouette, architecte : associé pour le fonctionnement bioclimatique ; Serge Ferenzi, architecte.

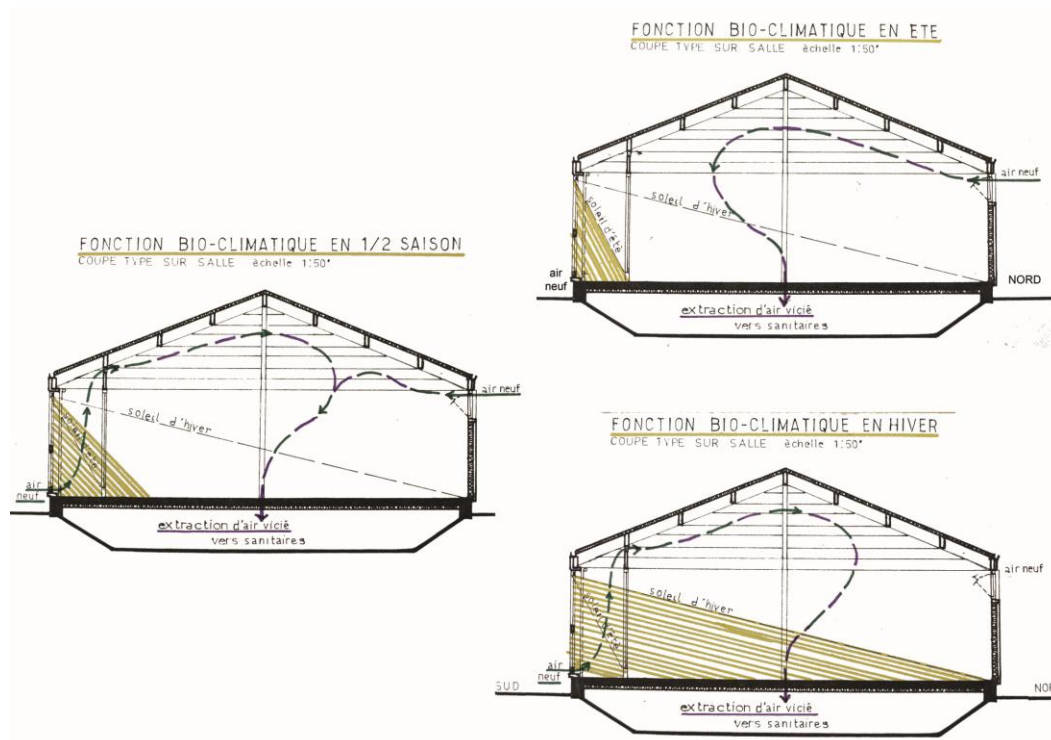


Figure 12 : École maternelle à Saint-Rémy-lès-Chevreuse 1980-1984. Fonctionnement bioclimatique en été, hiver et demie saison. Source : Fonds Mouette, Henri. Notes descriptives, Dossier 250 Ifa 9/2. Avenant, convention avec l'AFME, devis estimatif, notes...

Des recherches pour une architecture économe en énergie

A partir de 1982, sous la tutelle du Ministère de l'Équipement et du Logement, la recherche architecturale s'institutionnalise, avec la création du service de la recherche

architecturale (SRA), devenant par la suite le Bureau de la recherche architecturale (BRA) et surtout la création du Plan Construction et Architecture. Le bioclimatique y est abordé, comme thème de « construction, bioclimatique et projet architectural ». Il y est notamment spécifié :

« Une réflexion de caractère plus projectuel sur les implications morphologiques et spatiales d'éléments architecturaux dépassant les serres ou les capteurs traditionnels doit intégrer les données bioclimatiques au processus de conception architecturale. L'architecture bioclimatique n'est plus sans incidence, à terme, sur le processus de conception lui-même, ainsi que sur la demande sociale située en amont»⁹⁰.

L'objectif de ce programme n'est pas d'étudier les composants classiques – la serre et le capteur comme éléments symboliques de l'approche solaire, mais de placer des éléments plus classiques de l'architecture dans une conception économe en énergie. Il convient également de rendre les savoirs acquis, par les architectes et les techniciens, opératoires grâce à des outils d'aide à la conception et, plus tard, à la pédagogie, dont l'élaboration mobilise une bonne partie de la recherche architecturale et énergétique.

Plusieurs opérations expérimentales sont mises en place dans cette période, comme le concours « 5000 maisons solaires » lancée par le Plan Construction, ainsi que le concours « Écoles Économiques en Énergie » organisé par l'Éducation Nationale et le Secrétariat général des Villes Nouvelles en 1981. Ces opérations veulent organiser et développer le marché de l'énergie renouvelable afin d'encourager les professionnels à s'engager dans cette voie, et améliorer la qualité architecturale dans la construction française⁹¹.

Quels sont les résultats théoriques de cette démarche publique visant économiser l'énergie dans le bâtiment ? Quel est son impact sur le marché de la construction ? Pour répondre à ces questions, nous observons les résultats de ces concours.

5000 maisons solaires : aspect et résultats

Lancé en 3 janvier 1980, ce concours est publié en deux phases : la première de mille maisons en 1980, la seconde de quatre mille en 1981. Il s'adresse à des équipes composées

⁹⁰ CHATELET, Alain. *Ambiance et écologie. Les Cahiers de la Recherche Architecturale*. Marseille : Parenthèses, 1998, 42/43, p. 117-125.

⁹¹ « Le concours 5000 maisons solaires », *Cahiers techniques du bâtiment*, n°30 septembre, octobre, 1980, p. 55-59 ; *Écoles économes en énergie : 38 projets*. Paris : le Moniteur, 1984, 239 p.

d'architectes, de techniciens et d'entreprises du bâtiment. Finalement 72 modèles sont choisis parmi les projets présentés dans ce concours⁹² et 1488 maisons sont construites.

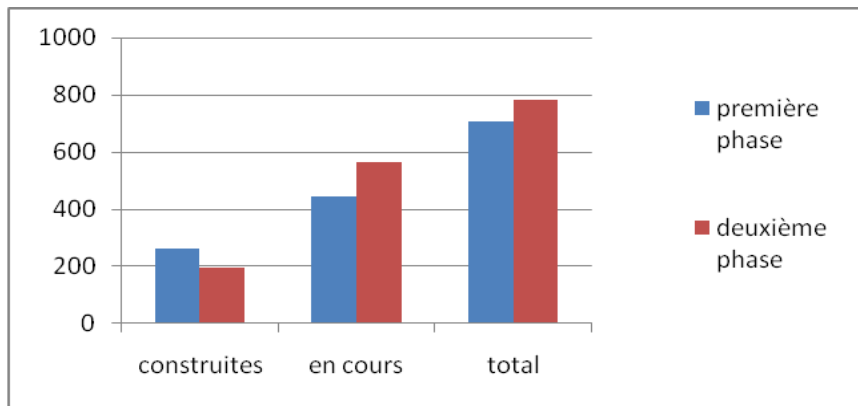


Figure 13 : Nombre des maisons construire dans les deux phases. Le Moniteur des travaux publics, 1983⁹³ (voire annexe)

Technique nouvelle de la serre :

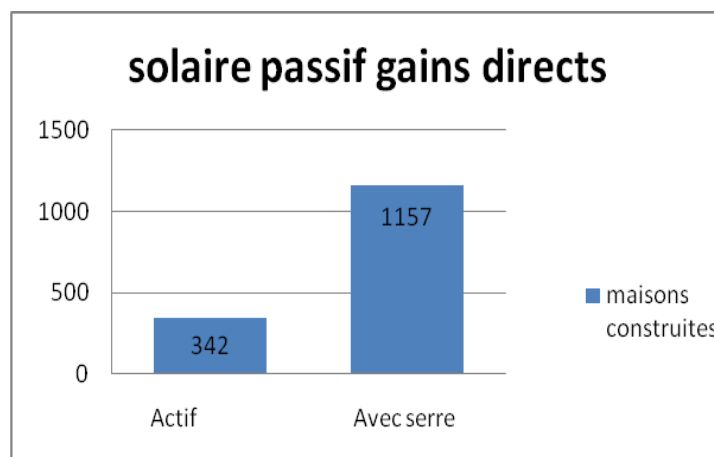


Figure 14 : Solaire passif gains directs ⁹⁴(voire annexe)

Les résultats de l'enquête réalisée par les Cahiers Techniques du Bâtiment sur les 72 modèles choisis montre que : 9 modèles de maisons réalisées sont à gains directs, 8 avec systèmes actif (à air ou à eau) et 60 équipés de serres. L'explication à cette majorité de choix

⁹² MENARD, Jean-Pierre. Concours (le) "5000 maisons solaires" 2 ans après, 457 maisons construites, 1031 en cours. *Cahiers techniques du bâtiment*, no 55, juin-juill. 1983.- pp.71-80.

⁹³ Tout les statistiques sont retenues des Cahiers Techniques du Bâtiment N°55 JUIN/JUILLET 1983. (Les concours 5000 maison solaires 2 ans après) par Jean-Pierre MENARD.

⁹⁴ *Ibid.*,

de serres réside dans les gains directs qu'elles apportent, bien que le préchauffage de l'air frais par les verrières constitue une solution développée par la plupart des concepteurs.

Jean-Pierre Auriault, Chargé du Bureau des Énergies Nouvelles Mission Énergie et Bâtiment Direction de la Construction Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie (MECV) en 1981, confirme que, les solutions solaires proposées dans la première phase de concours « 5 000 maisons solaires » sont très diverses.

« Environ 30 % des projets mettent en œuvre des chauffages solaires à eau et 25 % des chauffages solaires à air. Les autres projets (45 %) utilisent des techniques de captation passive propres à la démarche de conception bioclimatique (gain, direct, serre, mur Trombe). Enfin de très nombreux projets mettent en œuvre des solutions hybrides mélangeant des technologies actives et passives. Dans 67 % des cas, le type d'énergie assurant le chauffage d'appoint est l'électricité, en général par convecteurs et, quelquefois, par pompe à chaleur (10 % des propositions). Pour les autres dossiers, le type d'énergie utilisé est pratiquement toujours le gaz. Très peu d'équipes ont proposé des solutions de chauffage bi ou tri-énergies »⁹⁵.

En effet, par souci d'économie et de fiabilité, les concepteurs s'en tiennent à des solutions simples. Les innovations réelles sont plutôt rares ; notons cependant les capteurs sous vide intégrés dans le projet « la Palombe solaire » (Robert architecte)⁹⁶ et les systèmes de capteurs « invisibles » type « couverture d'énergie » sur la maison « plexus » (architectes ASSA, technicien ELF, constructeur Florilège)⁹⁷ Le système eau chaude-chauffage de cette dernière est intégralement dû aux énergies nouvelles : capteurs, pompe à chaleur, associés à un stockage dans le sol. Deux innovations énergétiques marquent la conception de ce modèle : le premier est le capteur invisible sous le versant sud de la toiture et qui a le même aspect au versant nord. Sous les bardeaux de couverture des boîtes métalliques plates, remplies d'une eau spéciale, transmettent les calories au circuit de chauffage par l'intermédiaire d'une pompe à chaleur. L'intérêt des architectes est de généraliser ce système dans autres types d'architecture. L'autre innovation est de récupérer les apports solaires par une pompe à chaleur (eau-eau) et au stoker dans le sol afin d'alimenter des planchers chauffants⁹⁸.

⁹⁵ AURIAULT, Jean-Pierre. 5 000 maisons solaires. *CPM*, n° 3, mars, 1981, p 37.

⁹⁶ Ce modèle est basé sur le principe d'un plan carré comportant un « patio » central couvert par une verrière. La « serre-patio » est utilisée pour le préchauffage de l'air neuf en serre sur une ventilation mécanique contrôlée à double flux avec récupérateur. Les apports solaires sont évalués à 5900 kWh et reviennent à 42% des besoins de ce logement de 101 m² de surface habitable. En raison de la conception architecturale, toutes les possibilités d'orientation de l'entrée existent. Les groupements s'effectuent en bandes continues.

⁹⁷ F. Verluise, architecte, cabinet Trouvin, thermicien, SES. dumez, constructeur qui associent isolation statique et pariéto-dynamique, capteur à air en toiture et pompe à chaleur air/air.

⁹⁸ 20 maisons solaires à visiter. <http://www.cdu.urbanisme.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/senartsolaire.pdf> vu le 11/03/2011.

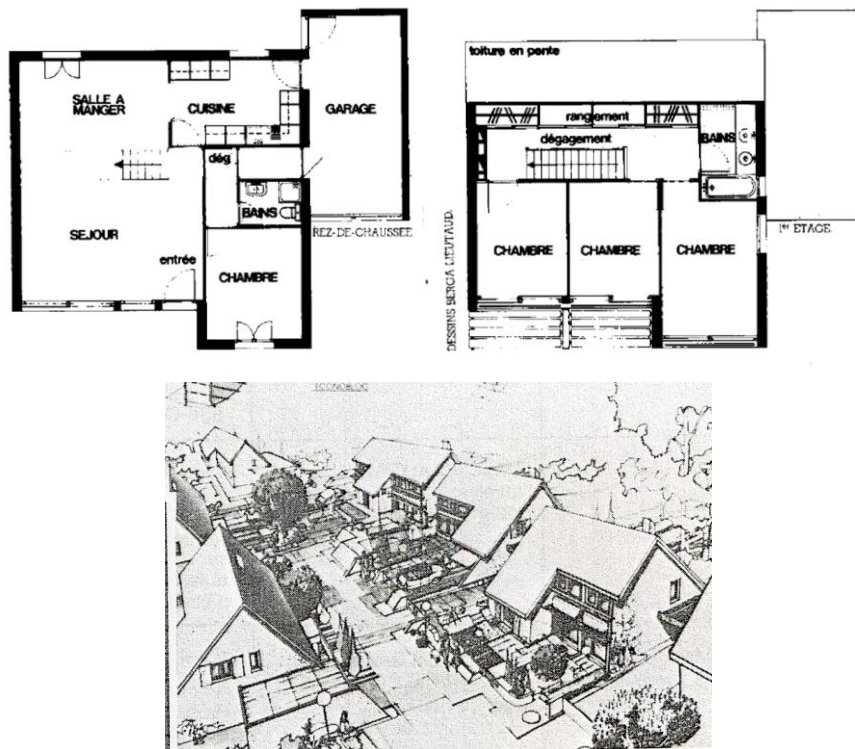


Figure 15: Maison plexus, plans et perspective. Source : 20 maisons solaires à visiter. <http://www.cdu.urbanisme.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/senartsolaire.pdf> vu le 11/03/2011.

Les maisons construites dans ce concours sont financées dans le cadre de budgets réglementés par les Prêts (P.L.A. Prêt Locatif Aidé, à financement, très social, ou P.A.P. Prêt d'Accession à la Propriété), avec autorisation de dépassement de 30 000 F pour le chauffage de l'eau sanitaire à l'aide de capteurs solaires. Or dans certains cas, le surcoût réel s'avère dépasse le niveau prévu : de 40 000 à 42 000 F notamment pour les maisons « cité jardin solaire »⁹⁹. L'expérience de Nandy à Melun Sénart qui regroupe vingt projets agréés de la première phase du concours¹⁰⁰ produit parfois des impossibilités. L'entreprise chargée du modèle « maison solaire urbaine » de Archicroup préfère renoncer plutôt que s'aligner sur les prix-plafond HLM après avoir réalisé un exemplaire en vraie grandeur. On remarque également certaines simplifications ; par exemple un programme de maisons "les Ruches" est réalisé, dans un premier temps, sans les serres, avec de simples balcons ouverts. De même, l'option « thermodynamique », revue dans le projet « maison Sud » s'avère trop chère. La

⁹⁹ Il est difficile d'être précis et de définir exactement la nature et le montant du surcoût ; ainsi l'isolation ne constitue-t-elle pas spécifiquement une caractéristique solaire. A l'inverse, les vitrages orientés vers le sud ne coûtent pas plus chers que ceux orientés vers le nord

¹⁰⁰ AURIAULT, *Op, cit*, p 39.

technique de double enveloppe (développée à partir de procédé « P. By » de Bouygues) semble devoir être réservée aux programmes collectifs.

Dans les enquêtes réalisées par les Cahier Techniques du Bâtiment on constate que : près de trois candidats - auteurs de projets agrées ou lauréat - sur quatre n'ont aucune expérience concrète de réalisation solaire avant les années 1979-1980. La comparaison entre avant 1979 et après 1980 est révélatrice d'un certain piétinement¹⁰¹. En effet, si 72% des architectes n'ont pas construit de bâtiments solaires avant ce concours, ils sont encore, pour l'année 1983, 75% pour lesquels le solaire reste une activité individualiste ou nulle ; l'impact du concours n'est cependant pas négligeable et l'on observe que le quart des architectes pour lesquels le solaire reste une activité secondaire incluent toujours les préoccupations bioclimatiques dans leur démarche. De même, 10% d'entre eux disent intégrer, au premier plan de leur travail, les recherches en matière d'économie d'énergie.

On peut dire, alors, que le concours « 5000 maisons solaires » attire bien l'attention des architectes des années 80 sur l'importance des nouvelles sources d'énergie. Ce concours aide, dans le domaine technique, à la production de nouveaux équipements qu'il ne réussit pas tout le temps à imposer au marché, soit parce qu'ils sont très cher, soit par rapport à la complexité de la production. Or, la réussite n'est pas complète, Bernard de Korsak regrette « l'absence de pérennité dans l'action de l'État puisque ces expériences réussies n'ont donné lieu ni à observation suivie, ni surtout à évaluation et diffusion »¹⁰².

Un protocole d'accord, en 1982, est conclu pour une durée de deux ans entre le Commissariat à l'Énergie Solaire (COMES) et le Secrétariat Général des Villes Nouvelles (S.G.V.N.) pour monter le nombre de bâtiments faisant appel à des techniques solaires actives ou passives qui permettent d'atteindre une économie d'énergie de 25 % des logements et 50 % des équipement publics, plus un nombre significatif d'opérations dans le secteur des bureaux et des bâtiments industriels, et l'étude de Z.A.C. solaires. Le COMES met à la disposition des Villes Nouvelles une somme globale de six milliards de francs, sur la période considérée, pour le financement des études de l'octroi de subventions à des opérations, et délègue son pouvoir de décision au S.G.V.N. avec contrôle a posteriori¹⁰³.

Le choix du solaire est déterminé par la nature des relations entre les Villes Nouvelles et les décideurs : un taux très important est choisi dans les équipements publics, car les collectivités

¹⁰¹ Voir annexe 2.

¹⁰² KORSACK de, Bernard et al. « L'évaluation de la politique du logement dans les villes nouvelles. Rapport n° 2003-0333-01, Conseil Ministériel de l'Évaluation, Conseil Général des Ponts et Chaussées, P 57.

¹⁰³ REBEYROTTE, Eric. « Énergies nouvelles et villes nouvelles ». *PCM*, janvier 1982, p 43.

locales sont directement intéressées aux charges de chauffage de leurs équipements, si bien que le problème est plus technique - trouver des bonnes solutions - que financier. Un des projets de ce protocole est le concours des « écoles économes en énergie » objet de notre prochain point.

1981 Le concours « école économes en énergie » :

Lancé par le ministère de l'éducation nationale et le secrétariat général des villes nouvelles en 1981, avec sept écoles à construire en villes nouvelles (annexe 2), les concurrents répondent au cahier des charges scientifiques et techniques publié dans un document de 350 pages, « sensibilisation à la thermique des écoles », remis à chaque équipe¹⁰⁴. Ce dossier définit l'école économe en énergie comme :

« une école sans inertie, équipée d'une ventilation mécanique contrôlée, une programmation et un niveau d'automatisation poussés, ainsi que d'un système de préchauffage de l'air neuf dans les locaux vitrés permettant de bénéficier d'un effet de serre »¹⁰⁵.

Trois climats sont envisagés, correspondant aux données météorologiques des stations de Trappes, Lyon-Bron et Carpentras. Deux inerties thermiques (fortes ou faibles) sont utilisées. Les organisateurs et les candidats ne concentrent pas leur attention seulement sur des considérations énergétiques. Au contraire, d'autres critères essentiels prennent un énorme intérêt, comme la qualité architecturale et l'intégration dans le site, la recherche du confort, la fonctionnalité des espaces et la maîtrise des coûts. Au niveau de l'insertion dans le site, il apparaît que les facteurs énergétiques sont peu sensibles, ces facteurs passent au second plan par rapport aux données urbanistiques (alignement) ou pédagogiques ou réglementaires (orientation privilégiée vers le sud-est). Les baies vitrées sont envisagées essentiellement comme source de chaleur, quelquefois pour l'éclairage naturel mais rarement comme ouverture vers l'environnement.

C'est le cas de l'école d'Évry (architecte : Yvon Carduner), où l'équipe de conception assimile les contraintes architecturales posées par la thermique. Le projet présente à la fois, une bonne compacité, un faible volume intérieur, une forte isolation, une bonne orientation et

¹⁰⁴ S.C.P.A. CLAUD-FESSO-RAOUST, J.P. FRANCA, R. GILLES. *Sensibilisation à la Thermique des Groupes Scolaires*. Recherche Education Nationale, Juin 1981.

¹⁰⁵ DEVAL, Jacques. et MINARD, Jean-Pierre. École énergie. Bulletin d'Information Architecturales, Paris : IFA, 1986, 19 p.

une faible inertie¹⁰⁶. La compacité en plan et en coupe est rendue plus spectaculaire encore par la surface réduite des ouvertures qui sont positionnées dans les pentes des toitures. A noter aussi que la réduction des déperditions par l'enveloppe est envisagée par une construction à ossature bois particulièrement isolante – très forte isolation $K_1 = 0,53 \text{ W/}^\circ\text{Cm}^2$, l'équipe de conception envisage aussi l'utilisation de double vitrage comportant une lame d'air de 12 mm qui permet une amélioration de 12 % des pertes thermiques à travers les baies vitrées qui sont le poste de déperditions par transmission le plus important¹⁰⁷.

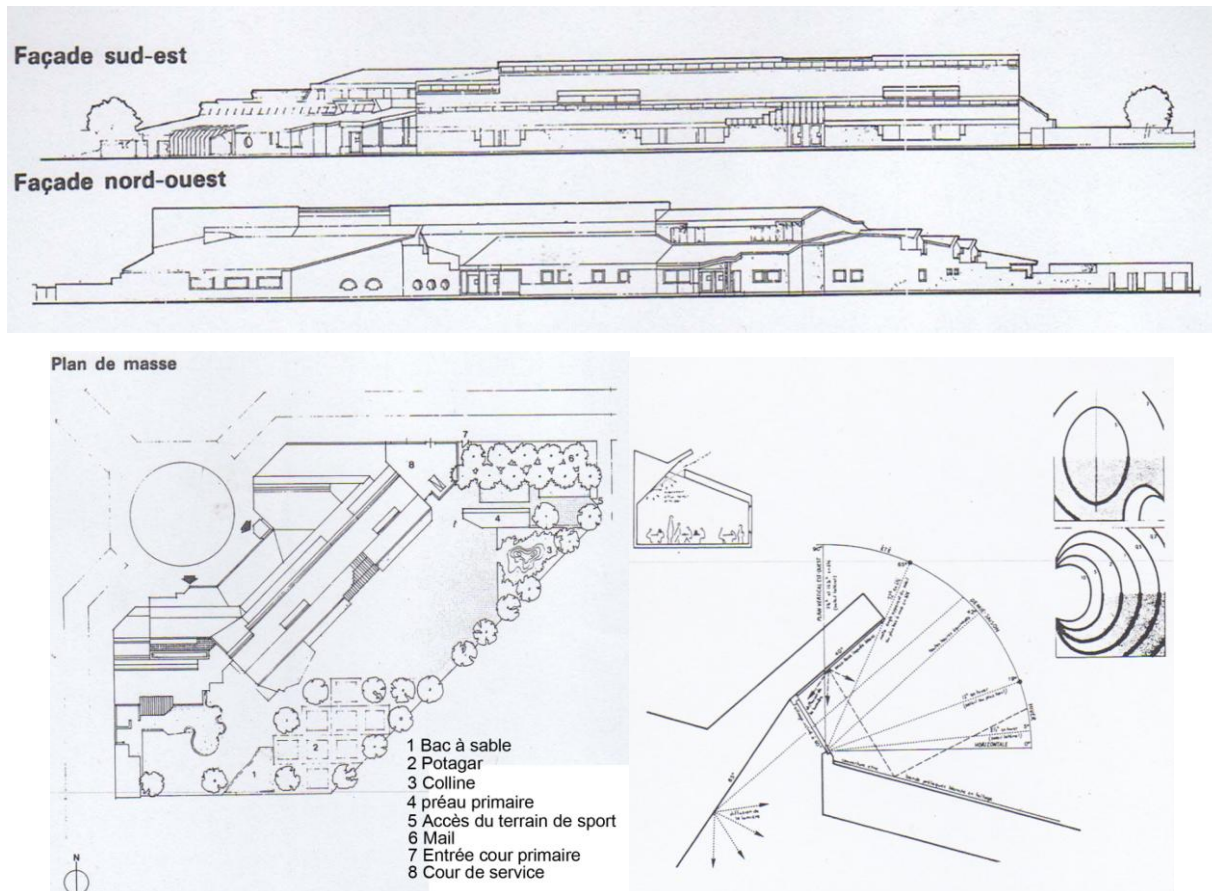


Figure 16: École d'Évry, Carduner architecte, Farnallier thermicien. Éclairage zénital prévu lors du concours, mais la solution construite est une association d'un « velux » et d'un pare-soleil horizontal. Ecole à structure bois, d'excellente compacité, avec un niveau d'isolation très poussé (cloisons isolantes entre classes et couloir notamment).

Volume chauffé : 6 300 m³

Rapport Se/V : 0,45m²/m³

Coefficient G1 : 0,26 W/m³°C G1.V : 1 630 W/°C

Sources : École énergie, *bulletin d'informations architecturales* ; Façades et plan de masse de l'école d'Évry ; *Bâtiment-énergie*, n° 40, aout – septembre 1985, p 35-36 ; S.C.P.A. CLAUX-FESSO-RAOUST, J.P. FRANCA, R. GILLES. Le solaire passif dans les écoles. Conférence internationale sur l'architecture solaire, Cannes, France, du 13 au 16 décembre 1982.

¹⁰⁶ Groupe Moniteur. *Écoles économes en énergie : 38 projets*. Vol II, Paris, Le Moniteur (Revue), 1984, p 52.

¹⁰⁷ *Ibid.*,

Le solaire source renouvelable de l'énergie

Dans « les écoles économes en énergie », le travail collectif entre architecte et thermicien permet l'utilisation systématique de verrières et de vitrages zénithaux qui sont utilisés surtout pour assurer le préchauffage de l'air neuf. On s'éloigne ici des préoccupations d'hygiène et de santé qui, dans les années 1930, avaient commandé un désir d'ouverture sur la nature. Les verrières répondent à une autre logique que l'on peut qualifier de bioclimatique, même si cette appellation n'est généralement pas utilisée par les concepteurs.

La dynamique de l'architecture solaire ou climatique est en effet bien présente même avant le concours « écoles économes en énergie ». Ainsi dans des régions comme Marseille, on utilise la technique solaire pour l'énergie en utilisant les cellules photovoltaïques et un aérogénérateur pour alimenter des pompes à chaleur, ou encore des éclairages à fibre optique. En même temps on utilise ces appareils comme « un jardin scientifique » et comme un symbole de la haute technicité pour réveiller de nouvelles perceptions chez les enfants et développer leur image de la technique. Dans cette approche un exemple unique est visible à l'école de Seez en Savoie 1976, par l'architecte Jean-Pierre Mercier et le thermicien Philippe Chavin.

La volumétrie, l'organisation des espaces, l'enveloppe ne sont pas les seuls éléments de conception dans ce concours, les facteurs énergétiques impliquent également des choix en matière d'équipements (traitement de l'air, production et distribution de chaleur, etc.). Une telle approche est sensible dans l'école de Cergy (architectes : Françoise Jourda et Gilles Perraudin), dans laquelle huit patios triangulaires couverts d'une verrière éclairent les classes et jouent un rôle structurant dans l'organisation générale de l'établissement. Cette disposition a permis de réduire le rapport entre surface vitrée en façade et surface au sol de 1/6 (valeur de référence normalisée) à 1/10¹⁰⁸. Jourda et Perraudin justifient leur choix conceptuelle en disant :

« c'est en recherchant une réponse architecturale au problème des économies d'énergie que nous avons conçu une école tournée vers l'intérieur, autour de patios-serres, à la fois espaces-tampons et capteurs solaires. La couronne des classes enserrant les espaces collectifs de l'école est prise entre deux espaces-tampons protecteurs, formant un bâtiment d'une grande compacité au profil bas sur le terrain dans lequel elle s'enfonce »¹⁰⁹.

¹⁰⁸ *Ibid*

¹⁰⁹ JOURDA, Françoise. PERRAUDIN, Gilles. « L'architecture climatique, élément d'une nouvelle culture ». *Techniques et architecture*, n°354, juin juillet 1984, p 53.

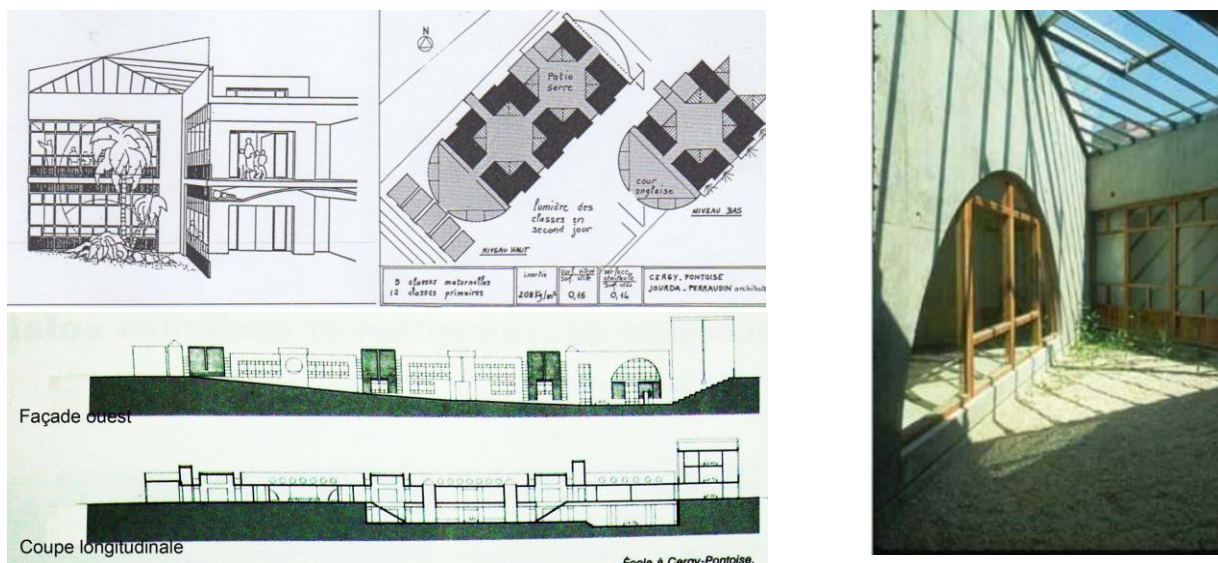


Figure 17 : École à Cergy-Pontoise. Coupe perspective : lumière naturelle en second jour pour patios et plancher –gaine, Françoise Jourda et Gilles Perraudin, architectes. École énergie, bulletin d'informations architecturales ; <http://www.jourda-architectes.com>.

Nouvelle technique, nouveau vocabulaire :

Jacques Deval et Jean Pierre Ménard montrent dans le Bulletin d'informations architecturales les nouveaux vocabulaires techniques issus de « écoles économes en énergie », ils affirment que la mise en œuvre des équipements ouvre un tout autre champ d'intervention architecturale, ainsi qu'un nouveau vocabulaire technique dans les catalogues de fabricants des produits performants et durables. Apparaissent les « systèmes d'occultation, mobiles ou fixes, manuels ou automatisés » qui se distinguent également par la nature des matériaux les constituant : « brise-soleil en béton moulé à Cergy (Bernard et Soler architectes), en béton de fibre de verre à Marne (Groupe Arcane architecte), végétaux sur treillis et pergola pour les serre-ateliers de l'école maternelle, ou encore l'écran poreux fixe en aluminium brisant les effet du vent et du soleil en façade ouest pour l'école primaire à Vitrolles (Stanislas Fiszer architecte), rideau aluminisé extérieur réglementaire mais qui paraît bien fragile à Parentis (Groupe ERSOL architectes et ingénieurs –associés : A. Ducasse, D. Grose, P. Laville, J. Puissant, Ph. Veron), écran tergal issu des techniques de façade-rideau plus solide à Marne »¹¹⁰. Ils relèvent aussi les signes extérieurs d'une « conception intégrant des préoccupations énergétiques », comme le contraste entre des façades orientées différemment et vouées à des rôles distincts. Ils proposent l'exemple du groupe scolaire édifié dans la ville

¹¹⁰ DEVAL, Jacques. et MINARD, Jean-Pierre. op. cit., p 13.

nouvelle du Vaudreuil (le Groupe S'Pace architecte) ou les façades sud sont destinées au captage de l'énergie solaire par des baies vitrées – serres et capteurs à air – s'opposant à la relative opacité des parois nord. Le contraste se traduit aussi par le choix des matériaux de l'enveloppe avec la béton, le verre, l'acier, côté soleil, et la brique¹¹¹.

Ces solutions nouvelles sont mises en œuvre pour répondre à la complexité des fonctions de la paroi opaque (degré d'isolation, porosité à l'eau et à l'air...). Une technique de plus en plus fine apparaît dans la composition des enveloppes, comme dans l'école de Brionne en Normandie (Patrice Mottini architecte) avec des murs double en parpaings peints à effet pariéto-dynamique. Dans ce projet, la conception et le traitement des réseaux aérauliques posent un réel problème puisque l'on considère que, dans des locaux scolaires, la moitié des consommations d'énergie est due au renouvellement de l'air. Une complexité effective entre architecte, bureaux d'études, industriels et entreprises s'impose alors dans la conception, pour permettre de réaliser ces équipements à la fois performants et « visibles ».

Finalement, sept écoles sont construites dans des villes différentes¹¹², elles ne représentent qu'un marché modeste pour l'industrie et les entreprises, qui ne sont pas certaines de pouvoir exploiter ultérieurement leur savoir-faire éventuellement acquis ce type de chantier expérimental. Pour les architectes en revanche, cette expérience peut être considérée comme la référence d'une démarche architecturale intervenant sur des équipements pour y obtenir de bonnes conditions de confort et pour en maîtriser les échanges énergétiques.

Parfois, les résultats de la production ne sont pas satisfaisants, comme à l'école de Marne-La-Vallée qui s'est trouvée en hiver 1986 avec seulement 14°C dans ses classes car le chauffage, dans la phase d'études technique, est réglé pour -7° à l'extérieur, alors que la température nocturne en 1986 est inférieure à -10°¹¹³. La liberté d'ouverture des portes et fenêtres constitue une limite exemplaire en termes de défaut pour les programmations. Dans la même école de Marne-La-Vallée, pendant le même hiver, les deux portes ouvertes à l'entrée une demi-heure durant, produisent une perte de la chaleur sous-estimée au niveau de la conception.

Finalement, le concours « 5 000 maisons solaires » et « écoles économes en énergie » sont les dernières grandes opérations de ce type. Des 5 000 maisons solaires seul un millier sont

¹¹¹ *Ibid.*,

¹¹² Cergy-pontoise, Evry, L'Isle-d'Abeau, Marne-la-Vallée, Melun-Sénart, Les Rives de l'Étang de Berre, Saint-Quentin-en-Yvelines

construites, surtout dans le village solaire de Nandy qui montre en fin les limites d'une approche « tout solaire » pour la construction d'un milieu urbain. Quant aux écoles économes en énergie, « pour lesquelles les concurrents disposent d'un important dossier technique, elles montrent que la problématique énergétique correctement mise en œuvre peut être un facteur informatif et créatif au lieu de n'être vécue que comme une contrainte entraînant nécessairement un déterminisme formel »¹¹⁴. Alin Chatelet montre que le mauvais compromis des principes énergétiques de base produit un nombre de « contre-exemples architecturaux et techniques suffisamment important pour renforcer l'idée que les contraintes énergétiques peuvent brider l'esprit créatif »¹¹⁵. Compte-tenu de sa faible production, l'architecture bioclimatique « solaire », entre 1975-1985, ne contribue que peu à la baisse de la consommation du secteur résidentiel et tertiaire. La diversité des réponses proposées durant cette période offre à la recherche un vaste champ expérimental permettant de produire les savoirs qui sont aujourd'hui mieux diffusés. Remarquons aussi que cette production est le fait de concepteurs qui se sont engagés avec enthousiasme dans des voies peu sûres et ont accepté (ou provoqué) la collaboration scientifique.

L'invention solaire en France après 1974 :

Cette révolution solaire au début des années 1980 ralentit dans son développement après la contre choc pétrolière en 1986. Les conséquences du contre-choc pétrolier (baisse des prix) se font sentir sur la politique de maîtrise de l'énergie et il apparaît que celle-ci n'est plus une priorité nationale. Les crédits de l'État consacrés à la maîtrise de l'énergie sont réduits de manière conséquente. Seule une veille scientifique dans le domaine, le soutien à quelques programmes de recherche et développement, et certaines actions d'aide au conseil pour les entreprises sont conservés. Ceci entraîne un désintérêt pour le sujet et une perte de compétence dans les entreprises et les bureaux d'études. Or, dans les mêmes circonstances, d'autres pays comme le Japon maintiennent des efforts importants dans le domaine de la maîtrise de l'énergie pour des raisons stratégiques de sécurité d'approvisionnement¹¹⁶. Le désintérêt de la maîtrise de l'économie d'énergie est observé également dans la création industrielle. L'Institut National de la Propriété Industrielle (INPI) reçoit des demandes de

¹¹³ Ils ne peuvent pas intervenir car la gestion de l'école est du ressort du personnel communal et non de celui du corps enseignant

¹¹⁴ CHATELET, Alain. « Ambiances et écologie : ... *Op. cit.*, p 120.

¹¹⁵ *Ibid.*, p 122.

¹¹⁶ <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=16121> vu LE 04/07/2012.

brevets qui protègent des inventions concernant des problèmes techniques et des solutions de ces problèmes. En analysant les dépôts de brevets concernant les techniques de l'énergie solaire nous remarquons que l'industrie solaire est très riche d'inventions dès 1975. Au début des années 1980 le nombre des brevets arrive à 140 brevets dans les techniques de l'énergie solaire, dont quelques dizaines d'inventions pour le chauffage- eau solaire, panneau solaire et capteur chauffage solaire. Nous remarquons aussi le ralentissement de la recherche solaire qui se traduit par la baisse de nombres de brevets déposés qui passe de 140 dépôts pour les techniques d'énergie solaire à 9 dépôts en 1987. Les activités de l'industrie solaire reprennent sa place dans l'industrie dans les années 2000, des préoccupations environnementales et énergétiques augment le marché d'énergie renouvelable, dont le solaire, dans l'industrie et la construction française afin d'économiser la consommation énergétique fossile et limiter les émissions de gaz à effet de serre en France.

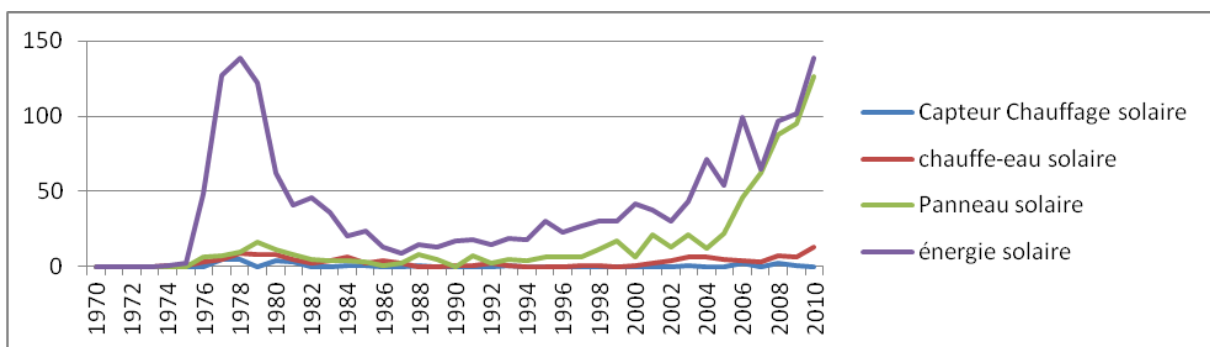


Figure 18 : Brevets déposés en France pour les techniques d'énergie solaire entre 1970 et 2010. Source : Service de recherche d'INPI : <http://www.inpi.fr/> (Annexe); http://fr.espacenet.com/advancedSearch?locale=fr_FR.

Le début des années 1990 est marqué par la prise en compte de la notion de « développement durable » et d'environnement, l'État pose le problème énergétique dans un nouveau cadre, qu'on peut rapprocher de la protection de l'environnement et de la dimension de la pollution au CO₂. Dans ce cadre, les directives du Sommet de Rio de 1992, mettent en place l'Ateque (Atelier d'évaluation de la qualité environnementale). Les travaux de cette équipe permettent de lancer en 1992 deux actions sectorielles, concernant treize « chantier verts » et, en 1993, un appel à proposition est retenu pour la réalisation de « bâtiments à haute qualité environnementale » (BHQE), concernant six cent logements pour quatorze projets. La volonté des pouvoirs publics assure alors une fonction d'encouragement et de regroupement des

efforts en développant une politique générale d'économie d'énergie, et de développement des techniques d'énergie solaire dans la construction en France comme dans les pays industriels.

Conclusion

L'analyse des préconisations des hygiénistes relatives aux ensoleillements à l'échelle urbaine comme à l'échelle conceptuelle commence dans les sanatoriums afin de répondre aux exigences de salubrité et se retrouvent après dans l'habitation dans le but du meilleur ensoleillement et éclairage. Ensuite, nous avons montré que les prémisses du contrôle de l'ensoleillement en architecture se mettent en place au début du XXe siècle, lorsque les architectes modernes découvrent les questions des surchauffes estivales derrière les pans de verre. Des tentatives d'une maîtrise du rayonnement solaire voient alors le jour, avec différents principes de contrôle solaire, allant des auvents aux brise-soleil qui devient un élément incontournable de l'architecture de Le Corbusier après deuxième guerre mondiale. Après le tournant vers l'architecture bioclimatique au début des années 1970 chez les architectes français inspirés par l'architecture solaire aux Etats-Unis, le choix de l'architecture solaire ou bioclimatique augmentent après la première crise pétrolière de 1974 à la suite de laquelle les pouvoirs publics ont exigé un règlement thermique dans le logement d'abord et dans les bâtiments publics. Une série de recherches et d'expérimentations débute alors. Cela encourage plus en plus des architectes à s'intéresser à la question énergétique et l'intégrer au premier plan de leur travail. Or l'influence de leurs travaux reste limitée, ces opérations ne représentent qu'un marché modeste pour l'industrie. Le choix de l'architecture solaire passive par la plus part de concepteurs qui adoptent l'architecture bioclimatique limite le développement envisager pour répondre aux problèmes énergétiques. Les architectes s'occupent essentiellement de l'ambiance thermique ainsi que les enjeux sociaux et économiques qu'elle traverse. Ils s'occupent moins de l'invention technique qui se limite aux économies de chauffage et quelques inventions dans l'utilisation de l'énergie solaire.

L'innovation — qui selon François Caron permet la diffusion de l'invention — dans ce secteur est ralentie après le contre-choc pétrolier en 1986. Elle reprend la voie du développement dans les années 2000, poussée par la démarche environnementale et écologique. Le choix de l'énergie renouvelable, dont l'énergie solaire, se généralise et les exemples d'utilisation de cette énergie se multiplient dans l'habitat comme dans les bâtiments publics.

Chapitre 2 : Enveloppe et Économie d'énergie

Chapitre 2 : Enveloppe et Économie d'énergie	72
Le rôle de l'enveloppe :	74
La fonction thermique de l'enveloppe	75
Enveloppe active, enveloppe passive	77
Nouvelle peau des bâtiments publics dans le XXe siècle	79
Les nouvelles techniques du vitrage extérieur	83
Confort d'été et brise solaire	86
La ventilation et le confort thermique	90
L'isolation thermique	94
Le marché européen de l'isolation thermique extérieure	97
Isolation thermique en France, inventions et intervenants	99
Du G au solaire passif : une révolution chez les thermiciens	102
Conclusion :	104

L'histoire de la construction est marquée par quelques étapes importantes en ce qui concerne la réduction de consommation énergétique. Les études relatives aux huisseries et à leur orientation, aux parois opaques se développent dans les années 1930 et 1940. Au cours des années 1930, André Nessi, ingénieur des Art et Manufactures, confirme que

« le meilleur moyen de réduire les frais d'exploitation de chauffage consiste dans le choix raisonné des matériaux qui constituent les murs extérieurs. [...] pour chaque bâtiment, il est possible de mettre en parallèle d'un côté les dépenses supplémentaires qui peuvent, dans certains cas, résulter de l'emploi de matériaux isolants, et d'un autre côté, les économies d'exploitation auxquelles vient s'ajouter la réduction de prix de l'installation des appareils de chauffage. Avec une bonne isolation, la puissance de ces appareils est en effet très diminuée »¹¹⁷.

Il rappelle qu'on peut diminuer la valeur du coefficient de conductibilité thermique en divisant l'espace d'air compris entre les parois en plusieurs intervalles. Il propose une étude des murs composés, avec ou sans vide d'air, afin de définir le mur le mieux adapté au chauffage qui, selon lui, doit être composé « d'une paroi extérieure en matériaux durables et solides, ensuite de l'ossature et du remplissage, puis d'un vide d'air et enfin d'une paroi mince, formée d'un isolant rigide »¹¹⁸. Il se préoccupe également du confort d'été, pour lequel il recommande de placer l'isolant à l'extérieur dans une configuration de double enveloppe ventilée : « le revêtement extérieur destiné à protéger le bâtiment du rayonnement solaire doit être complètement indépendant et fixé à une distance telle que l'air puisse librement circuler entre le mur extérieur et ce revêtement »¹¹⁹.

Ceci est à lier au large débat dans ces mêmes années d'avant-guerre sur l'enveloppe. Dans l'entre-deux-guerres un vaste débat anime les réflexions relatives aux constructions non traditionnelles futures : légères ou lourdes ? mobiles ou ancrées ? évolutives ou définitives ? Dans tous les cas, la paroi porteuse ou indépendante est sujet de recherches thermiques,

¹¹⁷ NESSI, André. « Propriétés thermiques des matériaux de construction : étude de la transmission discontinue de la chaleur à travers les parois des bâtiments ». In : *Bulletin de la Société d'encouragement. Pour l'industrie nationale*, avril 1932, p 289.

¹¹⁸ NESSI, André. « Étude du point de vue thermique de la structure des parois de bâtiments ». In : *Annales ITBTP*, janvier-février 1936, pp 59-60.

acoustiques, mécaniques. Son épaisseur se décompose en couches de matériaux porteurs d'un usage précis de l'extérieur — en tôle peinte ou vernie, ondulée galvanisée, ou verre, ou carton goudronné et sablé — à l'intérieur — en plaques de plâtre, en bois contreplaqué (lui-même multicouche) ou lamellé-collé — entre lesquelles pour isoler, on établit un vide d'air ou on remplit de paille, de vieux papiers chiffonnés, de sable, de carton ondulé¹²⁰.

Le Plan Construction prépare des appels à projets de recherches sur l'utilisation de l'énergie dans la construction ce que conduit à renforcer le débat sur l'enveloppe. Quel est le rôle de l'enveloppe dans les solutions innovantes concernant cette problématique ? les réglementations thermiques, changent-elle la notion d'enveloppe chez les architectes des années 1970-1980 ? Pour tenter de répondre à ces questions nous abordons d'abord, le rôle de l'enveloppe dans la construction dès les années 1950 et la notion de confort thermique. Nous analysons ensuite la façade légère comme solutions utilisée pour les bâtiments publics et les solutions proposées par les architectes pour garantir le confort thermique. Nous abordons également le développement de l'isolation thermique surtout par l'extérieure qui semble être une des conséquences directe de la crise pétrolière. Enfin nous cernerons le rôle du thermicien dans le développement de l'amélioration de la performance thermique du bâtiment.

Le rôle de l'enveloppe :

Les composants d'une enveloppe sont généralement divisés entre « murs de façade », « toitures » ou « percements ». L'enveloppe, plus ou moins épaisse et multifonctionnelle, sépare l'extérieur, considéré comme hostile, de l'intérieur du bâtiment et doit contribuer au contrôle du confort intérieur. Le niveau de transparence de cette peau, son rôle de membrane et ses qualités de filtre sont les vecteurs de notre relation symbiotique avec l'habitat. L'évolution des modes de vie, des usages et des techniques ainsi que les changements climatiques à l'œuvre, engendrent de nouveaux types architecturaux. Quelle est ici la fonction thermique de l'enveloppe ? Quel confort thermique choisit-on en France.

¹¹⁹ *Ibid.*,

¹²⁰ FARES, Kinda. *L'industrialisation du logement en France (1885-1970) : De la construction légère et démontable à la construction lourde et architecturale*. Thèses. Conservatoire national des arts et métiers - CNAM, (Dir) André Guillerme, 16/03/2012.

La fonction thermique de l'enveloppe

« Le bâtiment doit être conçu, non plus comme une enceinte isolante, mais comme un complexe structural qui tienne compte de la nature et de l'évolution cyclique des apports thermiques extérieurs »¹²¹. C'est comme cela Raymond Ayoub présente la notion de « confort thermique naturel » dans les années 1960. L'ensemble architectural doit être thermiquement sélectif, afin de tenir compte de l'alternance de facteurs climatiques indésirables ou favorables. Le débat sur la fonction thermique d'enveloppe se déroule dans les années 1950. Ceci est marqué par les recherches sur l'isolation dynamique appliquée par Félix Trombe et Jaques Michel qui, en 1956, mettent en place l'un des premiers concepts de mur accumulateur (mur Trombe, appliqué dans la maison d'habitation à Odeillo (département en France en 1967)¹²². La façade sud de cette maison comporte un double vitrage devant un mur en béton de 60 cm peint en noir pour mieux absorber le rayonnement solaire. Le chauffage dans cette maison s'effectue essentiellement par rayonnement et par convection. Le principe du mur « Trombe-Michel » est adapté dans différents projets de nature expérimentale qui caractérisent l'esprit de l'époque.

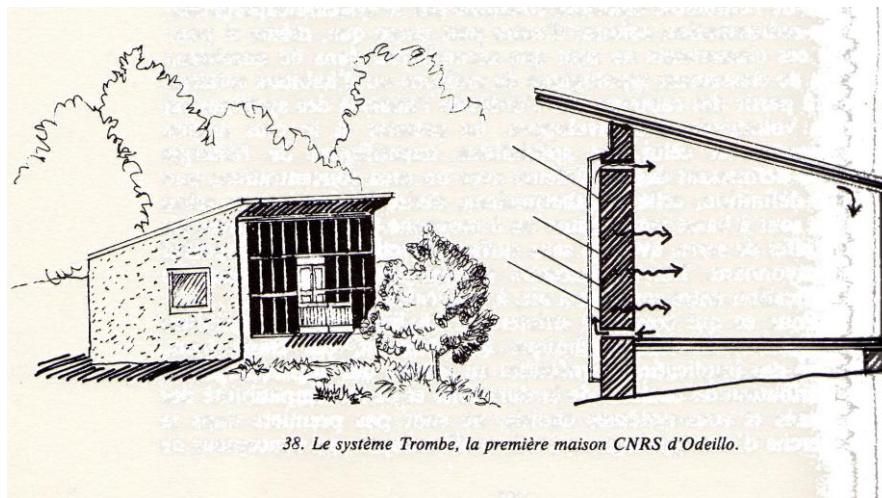


Figure 19 : le système Trombe, la première maison CNRS d'Odeillo. Source: ALEXANDROFF Georges et Jeanne-Marie. *Architectures et climats*. Berger-Levrault, 1982, p 242.

¹²¹ AYOUB, Raymond. « Contrôle thermique des locaux dans les tropiques et les régions tempérées et ensoleillées ». In : *Techniques et architecture*, février 1960, p. 70 ; voire aussi AYOUB, Raymond. « Chauffage et climatisation naturels sans équipements thermiques ». In : *Technique et Architecture*, juin-juillet 1977, n° 315, pp 33-38.

¹²² SCHITTICH, Christian. STAIB, Gerald. BALKOM, Dieter. et al. *Construire en verre*. Lusane : Presses polytechniques et universitaires romandes, 2012, p 57 ; ALEXANDROFF, Georges. et Jeanne-Marie. *Architectures et climats : Soleil et Énergies naturelles dans l'habitat*. Paris : Berger-Levrault, 1982, p 242.

La fonction thermique des parois s'enrichit au moment même où les techniques d'isolation se généralisent pour résoudre la question de déperdition énergétique, mais aussi pour réduire les nuisances sonores et absorber les vibrations. L'apparition des économies d'énergie, dans les années 1970, et, avant cela, la bioclimatique dans les années 1960, soulèvent de nombreuses questions chez le thermicien et l'architecte, mais suscite peu de réflexions. La situation évolue avec l'augmentation du prix de l'énergie dans les années 1980. Patrick Chiché insiste dans *Architecture et démarche énergétique* sur l'enveloppe comme élément de contrôle du transfert thermique¹²³. Elle doit satisfaire au même temps de nombreuses exigences : éclairage naturel, protection thermique, protection phonique, résistance mécanique, facilité de réalisation, facilité d'entretien...etc. l'enveloppe doit « contrôler au mieux les échanges thermiques. Elle peut les favoriser à certains moments ou, au contraire, les limiter à d'autres selon les changements climatiques (jour/nuit, été/hiver, etc) »¹²⁴. Pour Thomas Herzog¹²⁵ l'enveloppe du bâtiment doit satisfaire à d'autres critères également comme la :

« réduction des déperditions de chaleur vers l'extérieur et dans le corps de bâtiment (transmission de chaleur, transfert de chaleur, chaleur transportée par l'air d'aération) ; utilisation ou renvoi dans le bâtiment de la chaleur dégagée par celui-ci ; captage de la chaleur par les surfaces extérieures ensoleillées du bâtiment (mur, toit) ; isolation thermique du bâtiment en été (fenêtres et surfaces ensoleillées des murs et du toit) ».

Le comportement thermique de l'enveloppe varie selon les matériaux (pierre, métal, verre,...) et les types des parois (lourde, légère...). Jeanne-Marie et Georges Alexandroff décrivent des « modèles d'enceintes » pour les parois dans l'habitat qu'on peut généraliser à d'autres types du bâtiment. Ils les divisent en six modèles dont quatre concernent les parois lourdes ou légères. Dans le premier modèle, l'enveloppe est lourde et homogène et la conductivité thermique est moyenne, l'échange énergétique avec l'extérieur est lent ce qui suffit à maintenir l'ambiance intérieure dans une plage de confort acceptable sans apports énergétiques internes. Le deuxième modèle se définit par des enceintes à paroi isolante : ce modèle de construction légère fortement isolée et sans inertie thermique est utilisé avec du chauffage électrique intégré ; il ne peut bénéficier que très faiblement des apports solaires qui provoque rapidement une surchauffe. Le troisième modèle est celui des constructions traditionnelles semi-lourdes et d'isolation moyenne. Le quatrième modèle est l'enceinte à

¹²³ CHICHÉ, Patrick. et HERZEN, Michel. *Architecture et démarche énergétique*, Orbe : (éd) J.-R. MULLER, 1985, p 25 – 27.

¹²⁴ *Ibid.*, p 27.

parois minces plus ou moins isolante (tôle, amiante-ciment, planche, carton bitumé, bâche) se trouve surtout dans les constructions industrielles. Les deux autres modèles concernent l'architecture solaire¹²⁶ divisé en deux types d'utilisation active et passive, que nous abordons par la suite.

Enveloppe active, enveloppe passive

Les procédés actifs utilisent des équipements mécaniques pour capter, déplacer et distribuer la chaleur. Le captage est assuré par des surfaces qui peuvent être complètement dissociées de l'enveloppe du bâtiment (panneaux solaire à eau, à air, etc). Le stockage s'effectue la plupart du temps dans des volumes spécifiques utilisant la « chaleur massique » ou la « chaleur latente » provenant du changement d'état de l'élément de captage : fusion ou dissolution. La distribution de la chaleur s'effectue au moyen d'un appareillage alimenté par une énergie ordinaire comme des pompes électriques. La régulation est en général automatisée¹²⁷.

À l'opposé, les procédés passifs n'utilisent pas de moyens mécaniques pour capter et déplacer la chaleur. C'est une installation dans laquelle les flux d'énergie calorifique se déplacent avec les seuls moyens naturels que sont le rayonnement, la conduction et la convection. Les procédés passifs sont divisés en trois familles : les apports directs, les apports indirects et les apports séparés¹²⁸.

Apports directs

Ce procédé implique que le rayonnement solaire chauffe directement les espaces intérieurs. Lorsqu'un local sert ainsi de capteur, il doit posséder de quoi absorber et stocker la chaleur le jour en quantité suffisante pour la nuit suivante. Cette méthode implique, la mise en place de surfaces vitrées suffisantes, un compromis avec les déperditions par transmission ainsi qu'une masse thermique suffisante à l'intérieur pour absorber et stocker la chaleur. Les matériaux de stockage peuvent être composés de maçonnerie pleine ou d'eau. Le confort

¹²⁵ HERZOG, Thomas. NATTERER, Julius. *Habiller de verre et de bois*. Lausanne : Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1984, p 8.

¹²⁶ ALEXANDROFF, Georges. ALEXANDROFF, Jeanne-Marie. *Architectures et climat... Op. cit.*, p 210 – 212.

¹²⁷ CHICHÉ, Patrick. et HERZEN, Michel,... *Op. cit.*, p 56.

¹²⁸ *Ibid.*, p 52-55.

d'hiver peut être assuré par cette captation d'énergie, mais le concepteur doit veiller pour le confort d'été à éviter les surchauffes estivales.

Apports indirects

Les procédés basés sur les apports indirects utilisent principalement deux éléments fondamentaux que sont les murs capteurs-accumulateurs et les toitures bassins. La différence entre ces deux dispositifs repose essentiellement sur leur positionnement, l'un est un mur de façade, l'autre un élément de toiture. Les murs capteurs-accumulateurs peuvent être composés de matériaux de type maçonnerie ou en eau. Le mur « Trombe-Michel » est un exemple célèbre de ce dispositif en maçonnerie.

Apports séparés

Cette méthode se caractérise par la séparation entre les dispositifs de captage et de stockage d'avec les pièces habitables. L'application la plus répandue de cette technique est la thermocirculation.

Les premières expérimentations sur l'isolation dynamique sont menées en France par EDF dès le milieu des années 1970. Des études sont réalisées par le Centre d'Études et de Formation pour le Génie Climatique (CO STIC) et des expérimentations sont menées sur différents types d'isolation dynamique (isolation «thermodynamique», isolation «pariétodynamique» où la circulation d'air se fait par une lame dans l'épaisseur de la paroi, et isolation perméo-dynamique où l'air traverse un isolant)¹²⁹. Une première réalisation expérimentale est menée à Beauvais en 1976 (immeuble collectif à double façade ventilée) et un deuxième à Digne (salle de conférence à isolation thermodynamique)¹³⁰.

¹²⁹ Comité Scientifique et Technique de l'industrie du Chauffage, de la Ventilation et du Conditionnement d'air <http://www.costic.com/le-costic/qui-sommes-nous/historique.html> Consulté le 15/04/2011.

¹³⁰ GUIGNARD, Stéphanie. *Histoire de la recherche sur l'enveloppe du bâtiment : De l'habitat bioclimatique au bâtiment à énergie positive, Rôle de l'ADEME*. Paris : ADEME, février 2010, 60 p.

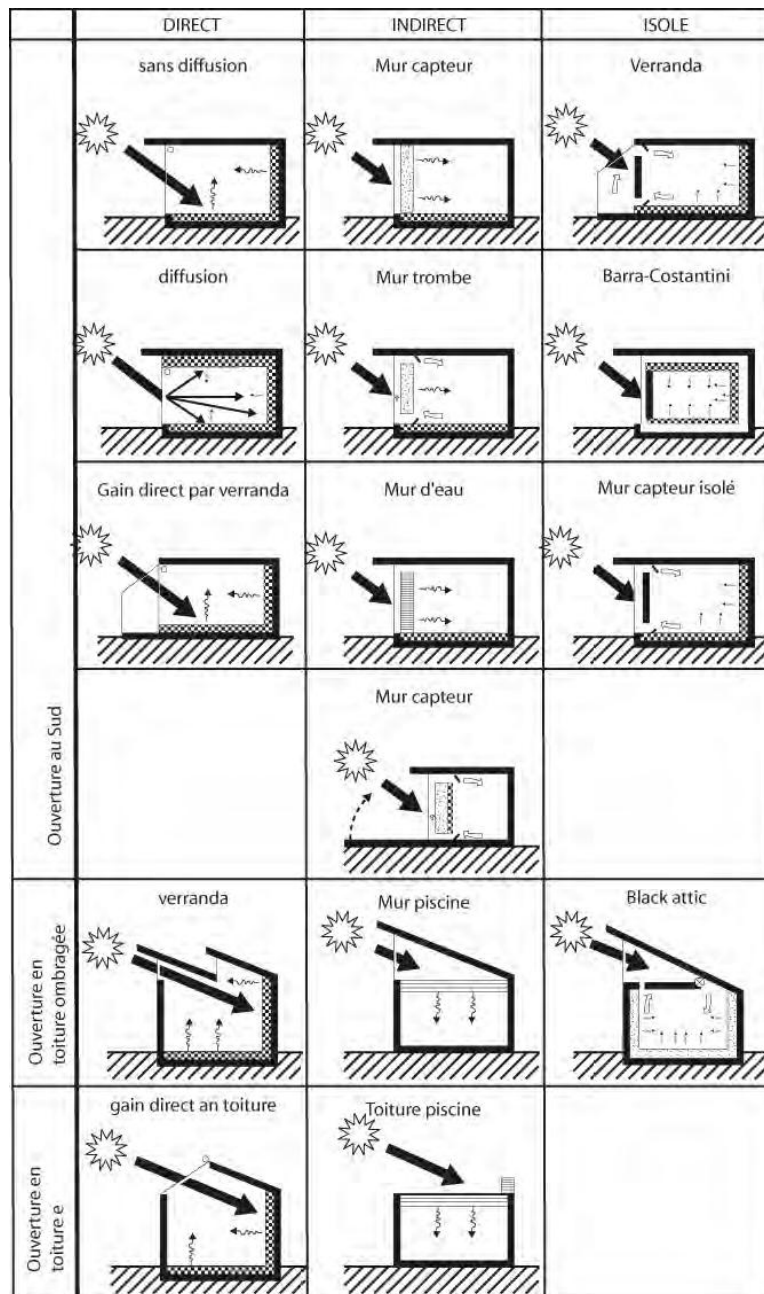


Figure 20 : Dispositifs de captation solaire. Source: GOULDING, J.R., LEWIS, J.O., STEEMERS, T.C. (1992) *Energy in Architecture: the European passive solar handbook*, ed. B.T. Batsford, London.

Nouvelle peau des bâtiments publics dans le XXe siècle

L'évolution des technologies dans la réalisation du mur-rideau fait apparaître, dans les années 1950, une nouvelle façon de construire où la structure s'efface au profit de la matière de surface. Les années de reconstruction sont favorables à une accélération de

l'industrialisation de la construction¹³¹. La préfabrication est envisagée pour réduire fortement la proportion de main d'œuvre, comme application des méthodes de l'industrie à la construction. Deux types de préfabrication sont proposées, la préfabrication lourde¹³² – les éléments sont généralement à base de béton coulé et vibré — ou légère – les composants structurants en acier sont préparés en usine, la seconde solution étant destinée principalement aux constructions provisoires et aux bureaux, aux écoles et aux habitations.

Jean Prouvé invente le système de mur-rideau en 1963. En collaboration avec Pierre Mesland¹³³, tous les deux produisent leurs panneaux en fonction du façonnage en atelier d'une enveloppe en tôle, « pliée et soudée », renfermant le matériau isolant. Auparavant, dans les maisons métalliques, la réalisation artisanale s'effectue en grande partie sur le chantier, par ajout de couches successives – parement extérieur et panneau intérieur légèrement isolant enfermant une lame d'air. Le concept de « mur-rideau » se concrétise chez Jean Prouvé, à travers trois études : la gare routière de la Villette achevée en 1933, le Pavillon du Club d'aviation Roland Garros à Buc en 1935 et la Maison du peuple-marché couvert de Clichy en 1937. Jean Prouvé explique son idée sur le mur-rideau :

On dit : « Prouvé a créé le (mur-rideau), ce n'est pas exact, car faire une façade légère toute seule, dans le vide, c'est idiot ! et pour moi, dans ces conditions, je ne vois vraiment pas comment les choses auraient abouti. J'ai toujours dessiné des ensembles. Quand je composais un bâtiment, j'en imaginais sa structure et son enveloppe logique. C'est justement parce que je fabriquais des structures qu'il m'est venu à l'idée de les habiller de façades légères, alors qu'à cette époque, on faisait des ossatures en acier ou en béton que l'on complétait de matériaux lourds porteurs. Je trouvais irrationnel d'alourdir ainsi une structure qui se suffisait bien à elle-même au point de vue résistance. Alors, logiquement, j'ai proposé une enveloppe pour cette structure, enveloppe qui serait totalement indépendante de l'ossature, quant à la stabilité de l'immeuble.¹³⁴

¹³¹ MESLAND, Pierre. *Avantages des ossatures métalliques et des murs-rideaux : Ecurtain-wallse, dans la construction rapide et économique d'immeubles*, 1957, 27 p. La pénurie de main-d'œuvre dans le bâtiment augmente au cours des années 1950 : « en mai 1955, il y avait 16.790 offres d'emploi officiellement non satisfaites, en mai 1956 : 56.874 » précise Pierre Mesland au centre d'études supérieures de l'institut technique du bâtiment et des travaux publics en 1957

¹³² C'est la solution qui a connu le plus grand succès, avec les procédés Camus, Coignet, etc. les charpentiers métalliques ne semblent pas avoir répondu avec la même volonté aux demandes du MRU, SEITZ, Frédéric. *Architecture et métal en France, 19^e et 20^e siècle*. Paris : Éditions de l'École des hautes études en sciences sociales, 1994, p. 224.

¹³³ La conception spécifique du mur-rideau date de 1936. Jean Prouvé invente cette solution pour la réalisation du pavillon Roland-Garros à Buc, en collaboration avec M. Lods et E. Beaudouin. L'idée de base est que l'ensemble du bâtiment doit être conçu pour être réalisé entièrement en usine. BEUFÉ, Jacques. « Enveloppe et mur-rideau ». In : *Technique et Architecture*, septembre octobre 1974, n° 300, P 55.

¹³⁴ Entretien avec Jean Prouvé. Propos recueillis par Pierre L. Debomy. *CIMUR*, 1968, n° 33, p. 32.

Le mur-rideau des années 1950 favorise la recombinaison des fonctions en un seul élément produit à l'atelier. Le panneau « sandwich » prend forme, d'une grande stabilité dimensionnelle, bon isolant thermique et résistant au feu. Dès 1956, Jean Prouvé dispose des moyens industriels de la CIMT en plus de la technique du panneau « sandwich ».

Le panneau se suffit à lui-même. Il est livré sur le lieu de montage totalement terminé, jusqu'au vitrage. C'est un sandwich dont les revêtements sont en métal, aluminium et acier, et l'âme en plastique expansé, polystyrène ou moltoprène. Pour la sécurité, le sandwich est armé extérieurement par un cadre en acier qui procure les feuillures des joints d'étanchéité. [...] un ébrasement intérieur est totalement dissocié de la fenêtre. Les coupures thermiques sont absolues. [...] ¹³⁵.

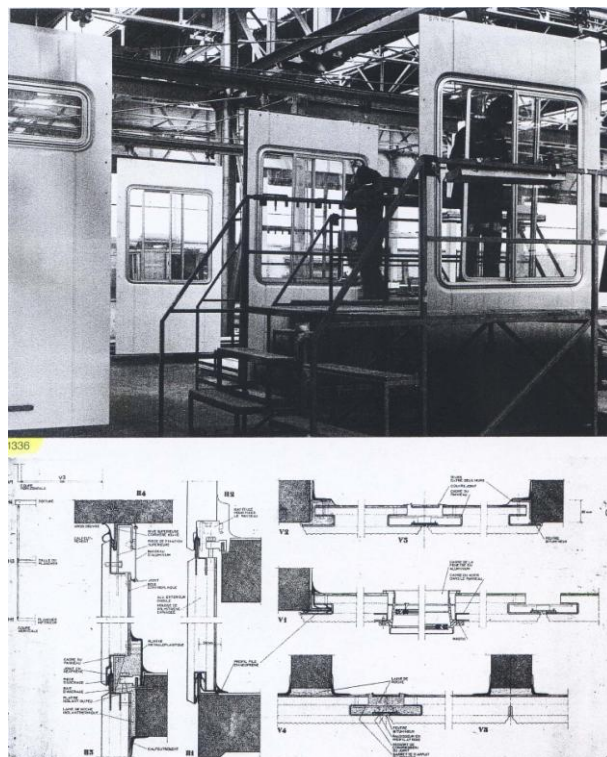


Figure 21 : La chaîne de fabrication de panneaux dans l'usine CIMT de Valenciennes. Source : SULZER, Peter. *Jean Prouvé : œuvre complète, 1954-1984*, vol 4, Birkhauser, p 40.

Prouvé participe à la construction de plusieurs bâtiments publics à Paris en utilisant des systèmes innovants de mur-rideau comme : l'Institut de l'environnement en 1969 (Groupement d'architectes Robert Joly, Façades CIMT Jean Prouvé) ¹³⁶, UNESCO, bâtiment n° V en 1969-1970 (Bernard Zehrfuss, architecte ; Marcel Faure, collaborateur ; Jean Prouvé

¹³⁵ SULZER, Peter. *Jean Prouvé : œuvre complète, 1954-1984*. vol 4, Birkhauser, 2008, p 40.

¹³⁶ L'institut a une vie courte, elle ferme en 1972, le bâtiment est utilisé en suite par l'école nationale supérieure des arts décoratifs. En 1992, un concours a été remporté par R. Tallon qui a proposé l'agrandissement du bâtiment avec des panneaux de Prouvé, ce qui n'a pas empêché la destruction (permis de mai 1994).

avec Louis Fruitet, ingénieur conseils ; réalisation des façades, SEAL), Siège du Comité central du Parti Communiste Français en 1969-1972 (réalisation de la façades, SCAN), Bureaux de la SEMEA en 1972 (Jean-Claude Jallat et Michel Proux, architectes ; Jean Prouvé, ingénieur conseil structure métallique avec Louis Fruitet, pour les façades et les escaliers), Forum des halles en 1977-1982 (SEMAH-SERETE aménagement, maître d'ouvrage ; Claude Vasconi et Geirges Pencreac'h, architectes assisté de Jacques Bouton ; Jean Prouvé assisté de Léon Petroff, ingénieur conseil), immeuble de bureau dans le Quartier de l'Horloge à Paris e, 1978-1979 (COGEDIM : Compagnie Générale de Développement Immobilier, maître d'ouvrage ; Jean-Claude Bernard, architecte ; Jean Prouvé, ingénieur conseil pour les cinq verrières en bow-window de la façade)...etc.

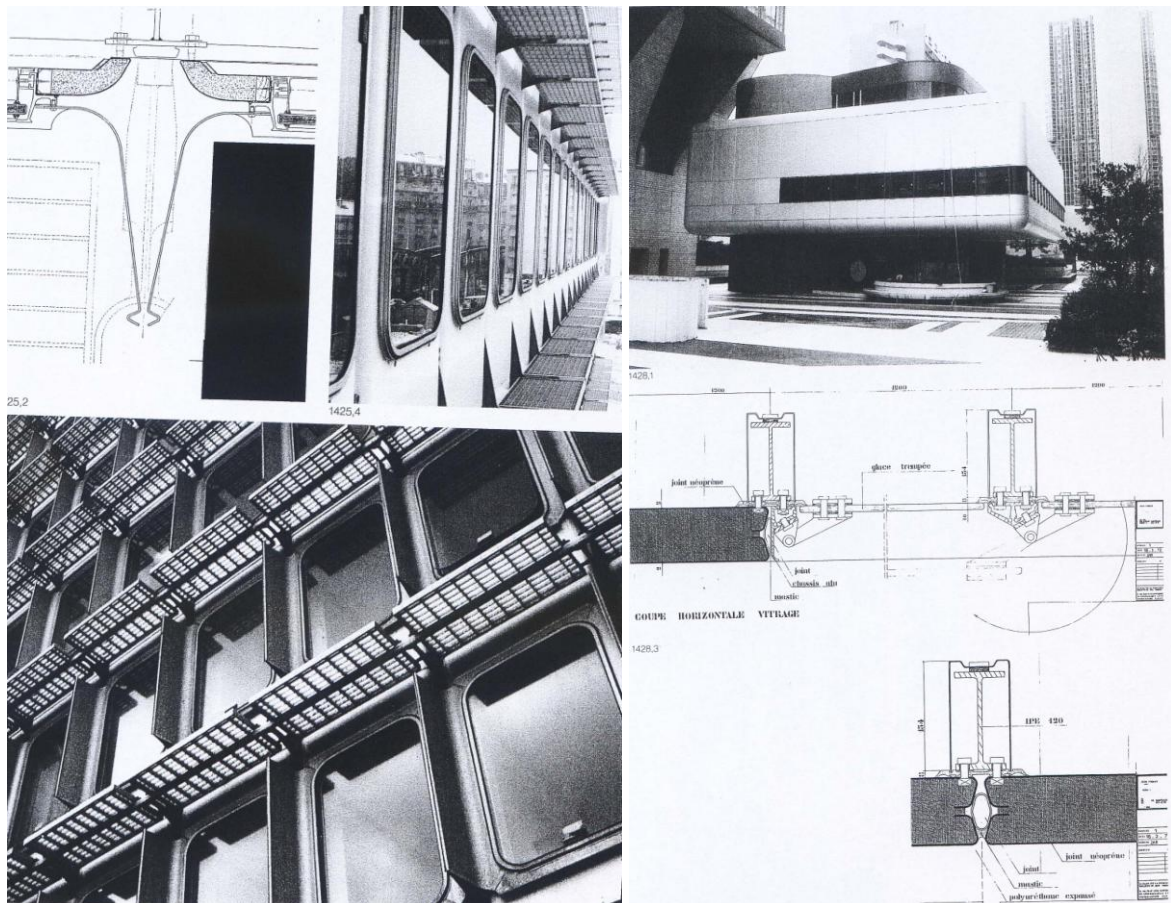


Figure 22 : Institut de l'environnement en 1969 et Secrétariat général des villes nouvelles en 1971-1972. Source : SULZER, Peter. *Jean Prouvé : œuvre complète, 1954-1984*. vol 4, Birkhauser, 334 p.

L'arrivée de l'aluminium sur le marché de la construction en France facilite de fabrication, notamment à tréfiler les profils avec les formes souhaitées par le concepteur, il est devenu un matériau essentiel à l'industrialisation des fabrications. Son inconvénient principal

est sa faible tenue au feu. Quant au verre traditionnel, il se divise en trois grandes catégories : la glace, le verre étiré et le verre coulé. Le verre devient dès les années 1950 un matériau de construction. Dans les années 1970, on distingue quatre variétés différentes : les verres de sécurité, il comprend trois types de conception différente : le verre armé, le verre trempé et le verre feuilleté¹³⁷, les verres absorbants ou réfléchissants, les verres de décoration et finalement les vitrages isolants et les survitrages. Jusqu'aux années 1970, les vitrages isolants sont basés sur les propriétés isolantes de l'air immobile, donc en faible volume. Pour ce faire, on laisse une lame d'air entre deux ou plusieurs feuilles de verre. La réalisation industrielle de produits métallisés à chaud, au début des années 1970, permet de mettre sur le marché des doubles vitrages agissant également sur la transmission par rayonnement, principalement le rayonnement froid, ce qui permet d'obtenir des produits plus performants. Les deux crises pétrolières jouent un rôle important dans le développement du mur-rideau. Les doubles vitrages augmentent leur pouvoir isolant lorsque l'air entre les deux feuilles de verre est remplacé par des gaz rares¹³⁸. Les verres isolants se développent très rapidement initialement, du fait des exigences de l'EDF pour le chauffage électrique intégré¹³⁹.

Les nouvelles techniques du vitrage extérieur

La technique de mur-rideau évolue avec l'apparition du Vitrage Extérieur Parclose (VEP), du Vitrage Extérieur Colle (VEC) et du Vitrage Extérieur Accroche (VEA)¹⁴⁰. Dans les années 1980, les recherches, aussi bien dans les panneaux que dans les assemblages, vont toutes dans la même direction : surfaces de plus en plus lisses et disparition presque totale des joints. Cela signifie que différentes solutions constructives disponibles permettent de gommer de la façade toute trace de structure se trouvant derrière les parois vitrées, faisant disparaître

¹³⁷ Les glaces trempées sont agréées vitrage de sécurité et sont conformes aux normes de fragmentation (NF P 32-500 et 78-304).

¹³⁸ L'isolation est encore meilleure en faisant le vide dans l'intervalle entre les vitres. Cette méthode, utilisée notamment au Canada dans les années 1970, a été abandonnée après quelques années. En effet, les joints finissent par céder à la différence de pression, laissant entrer l'air ambiant, ce qui cause des problèmes de condensation entre les deux parois vitrées.

¹³⁹ LEGLISE, Gérard. « le verre matériau de construction ». *Cahier Technique du Moniteur*, novembre, n° 7, 1976, p 27.

¹⁴⁰ Dans les années 1990, l'acier est redevenu d'actualité car les techniques de protection contre la corrosion se sont très largement améliorées pour un coût acceptable. La réglementation sur la propagation du feu a également encouragé le développement de ce matériau. C'est à partir des années 1990 que les premières normes et fiches techniques sont apparues.

toute impression d'épaisseur¹⁴¹. Ainsi, les panneaux en nid d'abeilles augmentent leur résistance grâce aux recherches sur leur structure interne. Ceci permet la réalisation de surfaces planes importantes, sans fixation apparente et avec un joint minimum. Par ailleurs, dans les techniques collées comme le *structural glazing* Vitrage Extérieur Collé (VEA), l'ossature du mur-rideau vient s'intercaler entre la peau extérieure et la structure primaire du bâtiment : la surface peut n'être que de verre, ou de pierre et de verre, ou de tout autre parement. La structure de mur-rideau réalisée dans la majorité des cas en aluminium est proposée à des coupures thermiques totales ou partielles selon les procédés¹⁴².

Le procédé « Vitrage Extérieure Collé » VEC « est une technique de mise en œuvre de produits verriers, constituant l'enveloppe extérieure de bâtiments, par collage sur un cadre. Le collage transmet aux éléments d'ossature les charges climatiques et éventuellement le poids des vitrages »¹⁴³. Il est massivement employé pour les immeubles tertiaires, parmi les premiers ouvrages en VEC en France, la pyramide du Louvre construite entre 1983 - 1988 et les grandes verrières de l'aile Richelieu de Ioh Ming Pei achevée en 1988, l'école d'ingénieur ESIEE à Marne-la-Vallée de Dominique Perrault construite entre 1984 et 1987. Les façades de cette école construite par (IBM Lille), 3 000 m² de VEC sans fixation complémentaire : aucune structure n'apparaît à l'extérieur. Ces parois sont constituées de vitrages isolants réfléchissants et représentent 523 m² pour les façades nord et sud et 882 m² pour la façade est comprenant la façade du parvis et celle du restaurant¹⁴⁴.



Figure 23 : Vu générale de l'école d'ingénieur ESIEE, Marne la vallée. Source : http://www.perraultarchitecte.com/fr/projets/2537-ecole_superieure_dingenieurs_en_electrotechnique_et_electronique_esiee.html

¹⁴¹ HOYET, Nadia. « La construction change de peau ». In : *Techniques et Architecture*, octobre-novembre 1985, n° 362, p 116-118.

¹⁴² *Ibid.*, p 117.

¹⁴³ Vitrages extérieurs collés, Cahier des prescriptions techniques, *Cahier CSTB*, n° 3488, Novembre 2003.

¹⁴⁴ École de l'innovation. *Cahiers Techniques du Bâtiment*, octobre 1987, n° 93, p 36.

Le procédé « Vitrage Extérieur Attaché » VEA permet de maintenir le volume de verre en quelques points par des fixations transversales. Des rotules et des câbles complémentaires peuvent être adaptés au principe de fixation. La première utilisation de ce procédé en France est mise en œuvre sur les serres de la Cité du Science de La Villette à Paris (architecte : Adrien Fainsilber achevé en 1986). Ce procédé est mis en œuvre par Antoine Benoît, plasticien-verrier après plus de quarante années de recherche¹⁴⁵. Le bureau d'études RFR propose, pour ces grandes serres, une technique de suspension des vitrages fixés par points, retenus par des poutres à câbles précontraints, qui élimine toute trace d'un cadre porteur, et minimise l'impact visuel des composants mécaniques nécessaires à la suspension et au contreventement. Le verre utilisé ici est un verre float trempé. Cette façade est considérée comme la première double-façade bioclimatique en France avec les serres utilisées pour la récupération de l'énergie solaire, doublée d'un rafraîchissement naturel obtenu par la présence des bassins tout autour du bâtiment.

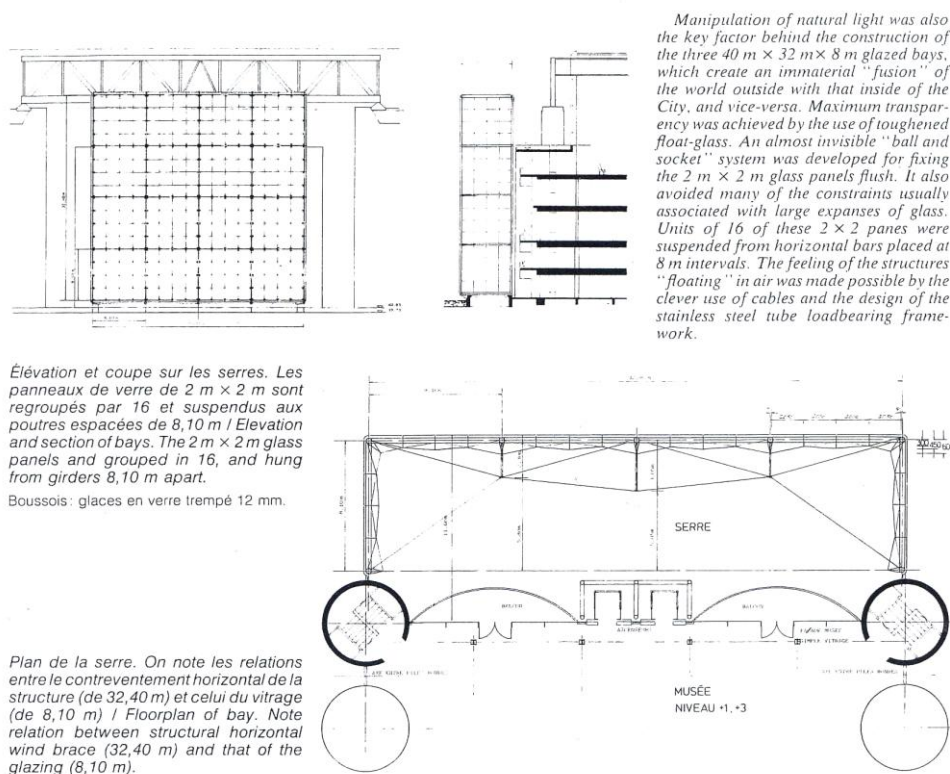


Figure 24: Détail de serre bioclimatique de la cité de la science à la villette. Source : « la villette : cité des sciences et de l'industrie ». *Technique et Architecture*, février-mars, 1986, n° 364, P 89.

¹⁴⁵ C'est le temps qu'il aura fallu à ce plasticien-verrier pour mettre au point un brevet de vitraux sans plomb ni colle.

Au début des années 1990, deux impératifs sont de mieux en mieux respectés sur les façades vitrées : le respect des règles de sécurité avec des dispositions empêchant la transmission des flammes d'un étage à l'autre, et le contrôle de la lumière¹⁴⁶. Une nouvelle technique, des années 1980, apparaît dans le centre d'hébergement du monastère de Windberg conçu par Thomas Herzog livré en 1991. Il s'agit de la mise en œuvre en façade méridionale d'une isolation translucide au chauffage par restitution dans la soirée de la chaleur accumulée pendant les journées. Le matériau transparent de remplissage TIM¹⁴⁷, utilisé ici, permet de réaliser des parois relativement fines (12 à 15 cm d'épaisseur totale), translucides (80% ou plus de transmission lumineuse), avec un niveau d'isolation comparable à celui d'un mur isolé (0.8 à 0.4 Wm²K)¹⁴⁸.

Confort d'été et brise solaire

Amina Harzallah explique que le développement de la façade libre, et du mur rideau dans la première moitié de XX^e siècle pose un problème de surchauffe derrière les parois de verre. Cela conduit les architectes à repenser la question de la maîtrise du flux solaire¹⁴⁹. L'exemple de cette réflexion dans les années 1930 est la Cité de Refuge de l'Armée du Salut édifée par Le Corbusier à Paris. Ce bâtiment, avec ces façades de verre étanche « non ouvrants » et avec un système de ventilation, souffre d'une surchauffe importante¹⁵⁰. Ceci le conduit à inventer le brise-soleil en 1948¹⁵¹. Le Corbusier donne une description de ce nouvel élément d'architecture :

«Après vingt-cinq années de recherches, un élément nouveau (bien que d'essence traditionnelle) pourra peut-être s'inscrire définitivement dans l'architecture d'acier, de ciment et de verre : le brise-soleil qui, à vrai dire, introduit une technique nouvelle : le contrôle du soleil (éclairage et éblouissement). »¹⁵²

Les résultats de ses recherches sur la protection solaire sont inscrits dans l'unité d'habitation à Marseille. Daniel Siret évoque la notion de brise solaire chez Le Corbusier où

¹⁴⁶ MENARD, Jean-Pierre. « Façades légères ». *Le moniteur architecture - AMC*, mai 1993, n° 41, pp 56 – 62.

¹⁴⁷ Transparent Insolation Matériaux, selon la terminologie anglaise.

¹⁴⁸ *Ibid.*,

¹⁴⁹ SIRET, Daniel. et HAREALLAH, Amina. « Architecture et contrôle de l'ensoleillement ». In : *IBPSA France*, 2006 à La Réunion – 2&3 Novembre 2006, p 1.

¹⁵⁰ La façade sud avec verre étanche est justifiée par Le Corbusier pour le gain de chauffage en hiver. Il estime pouvoir lutter contre les surchauffes par l'utilisation d'un système de conditionnement d'air « l'air exact ». Différentes péripéties techniques et économiques empêchent de mettre en œuvre ces dispositifs et une vive polémique s'engage dès la réception du bâtiment sur son caractère étouffant en été. *Ibid.*

¹⁵¹ Le Corbusier, in : *Architecture d'Aujourd'hui*, numéro spécial, 1948, p. 49.

le brise-soleil, dans les années 1940, semble être la seule solution possible pour lutter contre les « Problèmes de l'ensoleillement »¹⁵³. Il indique que la théorie du brise-soleil est également développée dans une série d'illustrations réalisées tout au long des années 1940. De 1946 à 1948, plusieurs variantes de loggias brise-soleil sont dessinées : avec une tablette intermédiaire (situation existante), sans tablette (situation de l'unité construite plus tard à Berlin) et avec deux tablettes. Cette dernière version reste utilisée jusqu'en mai 1947¹⁵⁴. L'importance de ce projet est la référence de l'utilisation des brise-soleils. « Le brise-soleil trouvera petit à petit, par l'effet conjugué de tous, sa juste proportion, comme la fenêtre Louis XVI eut la sienne »¹⁵⁵.

Les systèmes de protection solaire se multiplient dans les années 1970 et 1980. Placés devant ou derrière le vitrage, ces systèmes sont destinés à améliorer l'énergétique du bâtiment. Ils aident à éviter les surchauffes dues à l'exposition solaire directe en été. Ils améliorent l'isolation thermique des vitrages et laissent le rayonnement solaire rentrer dans le bâtiment en hiver. Chiché et Herzen décrivent plusieurs types de protections (intérieures, extérieures et intermédiaires) et des systèmes « diurnes »:— brise-soleil, éléments mobiles (stores à lamelles pivotants) — ou nocturnes, nécessitent des manipulations quotidiennes pour les ouvrir ou les fermer, — panneaux pivotants autour d'un axe vertical ou horizontal, panneaux coulissants, éléments mobiles horizontaux pivotants, rideaux, panneaux transportables, éléments repliables — et systèmes automatisés comme les « skylids », dont les grandes lamelles pivotent dès que le rayonnement solaire est insuffisant¹⁵⁶.

¹⁵² *Ibid.*,

¹⁵³ SIRET, Daniel. L'illusion du brise-soleil par Le Corbusier. *Colloque langages scientifiques et pensée critique : modélisation, environnement, décision publique*, Cerisy : France, 2002, 8 p.

¹⁵⁴ SIRET, Daniel. Et al. Généalogie du brise-soleil dans : l'œuvre de Le Corbusier : Carthage, Marseille, Chandigarh. Collectif, *Filiation(s), Cahiers Thématiques*, 2004, n°4, EAL/Jean-Michel Place, p 5.

¹⁵⁵ L'Architecture d'Aujourd'hui, n° spécial 'Le Corbusier', 1948, *op. cit.*, p. 52.

¹⁵⁶ CHICHÉ, Patrick. et HERZEN, Michel,... *Op. cit.*, p 36 – 38 ; ces systèmes sont présentés dans plusieurs autres ouvrages, nous citons : *European Passive Solar Handbook : Basic Principles and Concepts for Passive Solar Architecture*. Commission of the European Communities, Preliminary edition, 1986. P 4,7 – 4,9.

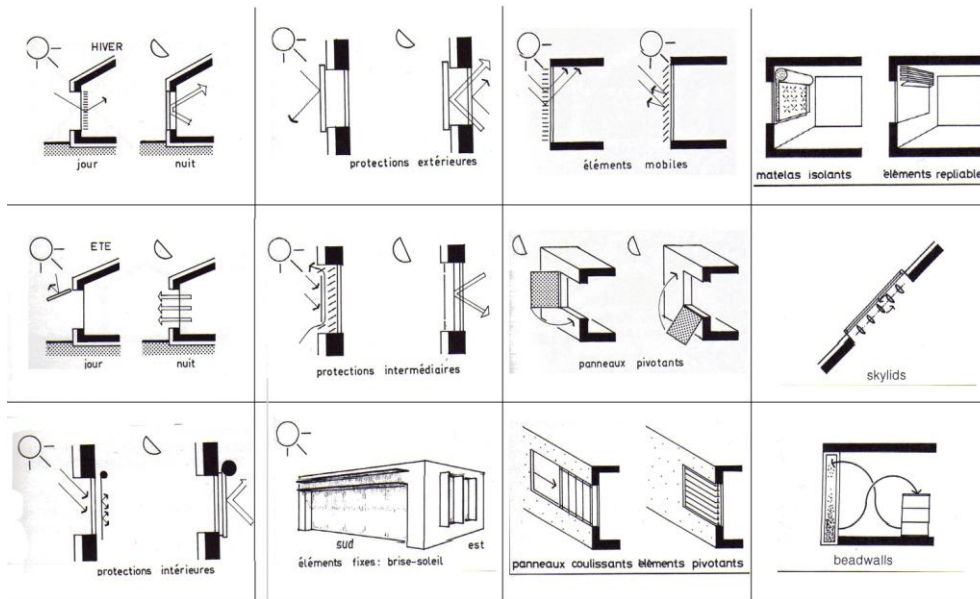


Figure 25 : Systèmes de protection solaire. Source : CHICHÉ, Patrick. et HERZEN, Michel. Architecture et démarche énergétique, Orbe : (éd) J.-R. MULLER, 1985, p 36-38.

Un des exemples internationaux de la conception d'enveloppe économe en énergie est l'immeuble de la commission des ressources énergétiques à Californie (Nacht et Lewis, architectes), ce bâtiment, achevé en 1981, est construit dans le cadre de réactualiser le plan directeur du quartier central de la ville, autour du Capitole, dans le sens d'un meilleur équilibre énergétique¹⁵⁷.

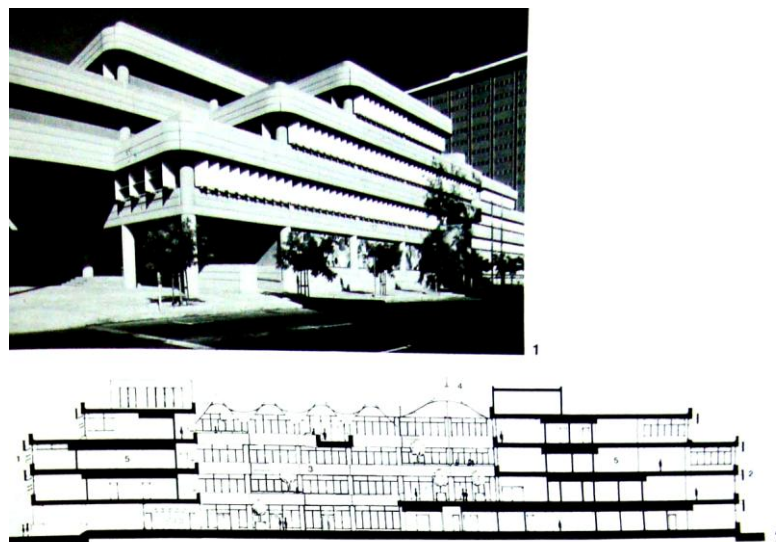


Figure 26 : Immeuble de la commission des ressources énergétiques à Californie (Nacht et Lewis, architectes). Source : Révolution énergétique en Californie. Architecture climatique. *Techniques et Architecture*. 1984, n° 354, p 105.

¹⁵⁷ « Révolution énergétique en Californie. Architecture climatique ». *Techniques et Architecture*, 1984, n° 354, 160 p. p 103.

Les architectes cherchent à optimiser l'apport de la lumière naturelle dans les lieux de travail, dans le but de réduire la consommation électrique. Ainsi, le bâtiment est organisé autour d'un grand patio et il comprend de nombreux décrochements en plan, ce qui contribue à créer des zones de travail relativement étroites et bien en contact avec la lumière. Pour limiter les effets de surchauffe due au soleil, les fenêtres sont équipées de brise-soleil fixes ou orientables. Pour les mêmes raisons une structure tendue recouvre le patio¹⁵⁸.

Les systèmes de protection solaire utilisés dans les bâtiments publics à Paris diffèrent d'un édifice à l'autre. Nous citons par exemple : les panneaux d'acier repliables devant la façade de la Maison des Sciences de l'homme (Lods, Depondt, Beauclair, arch., K. Wilenko, ing., 1967-1970) à Paris¹⁵⁹. Des lamelles horizontales à l'intérieur des façades de l'hôtel industriel Jean-Baptiste Berlier (Perrault, arch, 1986-1990)¹⁶⁰. Des lamelles et des stores horizontaux à l'extérieur de la façade de l'ensemble d'habitation, rue Meaux à Paris (Renzo Piano, 1988-1991)¹⁶¹ et la façade sud de l'Institut du Monde Arabe (Jean Nouvel, 1981-1988).



Figure 27 : Exemple de brise-soleil. Source : MONNIER, Gérard. *L'architecture moderne en France : tome 3, de la croissance à la compétition 1967-1999*. Paris : Picard, 2000, 311 p.

Les brise-soleils sont entrés, dans les années 2000, sur le marché des produits de protection solaire en proposant une solution efficace et économique contre le rayonnement solaire. La

¹⁵⁸ Ibid., p 105.

¹⁵⁹ MONNIER, Gérard. *L'architecture moderne en France : tome 3, de la croissance à la compétition 1967-1999*. Paris : Picard, 2000, 311 p. p 44.

¹⁶⁰ Ibid., p 100.

¹⁶¹ Ibid., p 148.

forte progression des ventes de brise-soleil entre 2001 et 2005 est principalement due aux nouvelles tendances architecturales, à l'application de la réglementation RT 2000 et à la prise en compte des problématiques environnementales dans la conception des bâtiments. La réglementation a représenté un tremplin pour le marché des brise-soleil entre 2001 et 2005. En effet, la RT 2000 impose un niveau de consommation énergétique maximal et des seuils de température à l'intérieur des bâtiments¹⁶².

La ventilation et le confort thermique

« L'aération, qu'elle soit réalisée de façon naturelle ou mécanique, est indispensable à l'obtention d'un air ambiant de bonne qualité. Elle a pour priorité de satisfaire les besoins d'hygiène et de confort. Elle vise en particulier à : apporter de l'air neuf, afin notamment d'éviter les situations de confinement et permettre le bon fonctionnement des appareils à combustion ; évacuer l'air vicié par divers polluants ; lutter contre l'humidité et les condensations ». Ceci est la définition de l'« aération / ventilation » écrite sur le site de Ministère de l'Écologie, de Développement Durable et de l'Énergie. Les exigences de ventilation et aération rentrent dans la réglementation dès la deuxième moitié de XX^e siècle. Avant cela, les exigences se réduisent à l'Ordonnance de Police de 1906 qui impose qu'un conduit de fumée soit présent dans la cuisine et dans toutes les pièces principales. Le Règlement sanitaire de Paris de 1937 confirme ces dispositions aussi. L'aération est réglementée en France depuis le décret du 22 octobre 1955 et l'arrêté du 14 novembre 1958 relatif à l'aération des logements neufs. Le Décret 55-1394 du 22 octobre 1955, fixant les règles générales de construction des bâtiments d'habitation visés à l'article 92 du Code de l'urbanisme et de l'habitation (JO du 25 octobre 1955), autorise l'emploi de conduits collectifs à départ individuel de hauteur d'étage (dits conduits shunt). Il maintient l'obligation d'un conduit de fumée en cuisine mais autorise, en présence de chauffage central, qu'il n'y ait plus qu'un conduit de fumée pour trois pièces principales. L'arrêté du 22 octobre 1969¹⁶³ relatif à l'aération des logements neufs fixe le principe de la ventilation générale et permanente des logements, par ventilation naturelle par conduits à tirage naturel ou par ventilation mécanique. Celui-ci est renforcés en 1982 par les arrêtés du 24 mars 1982 et du 28

¹⁶² Présentation de la Nouvelle étude MSI, Brise-soleil en France: +173% entre 2001 et 2005. <http://www.prweb.com/releases/2006/05/prweb389410.htm> vu le 10/07/2013.

¹⁶³ Arrêté du 22 octobre 1969 relatif aux conduits de fumée desservant des logements (JO du 30 octobre 1969).

octobre 1983¹⁶⁴ qui fixent des exigences de débits minimums d'air extrait des pièces de service, et autorisent la modulation des débits. Par ce texte, l'aération peut être assurée par un dispositif mécanique qui module automatiquement le renouvellement d'air du logement. Les locaux à usage autre que d'habitation sont soumis aux exigences du Règlement Sanitaire Départemental et du Code du Travail. La première réglementation thermique pour le tertiaire paraît en 1976 qui est largement modifiée et complétée en 1988. Elle intègre à cette date la climatisation dans les bâtiments tertiaires. Des nouvelles règles concernant les systèmes de ventilation naturelle ou mécanique¹⁶⁵ sont mises en place avec quatre nouvelles dispositions : humidité, limitation des débits spécifiques, limitation des débits supplémentaires et comptage de l'énergie consommée.

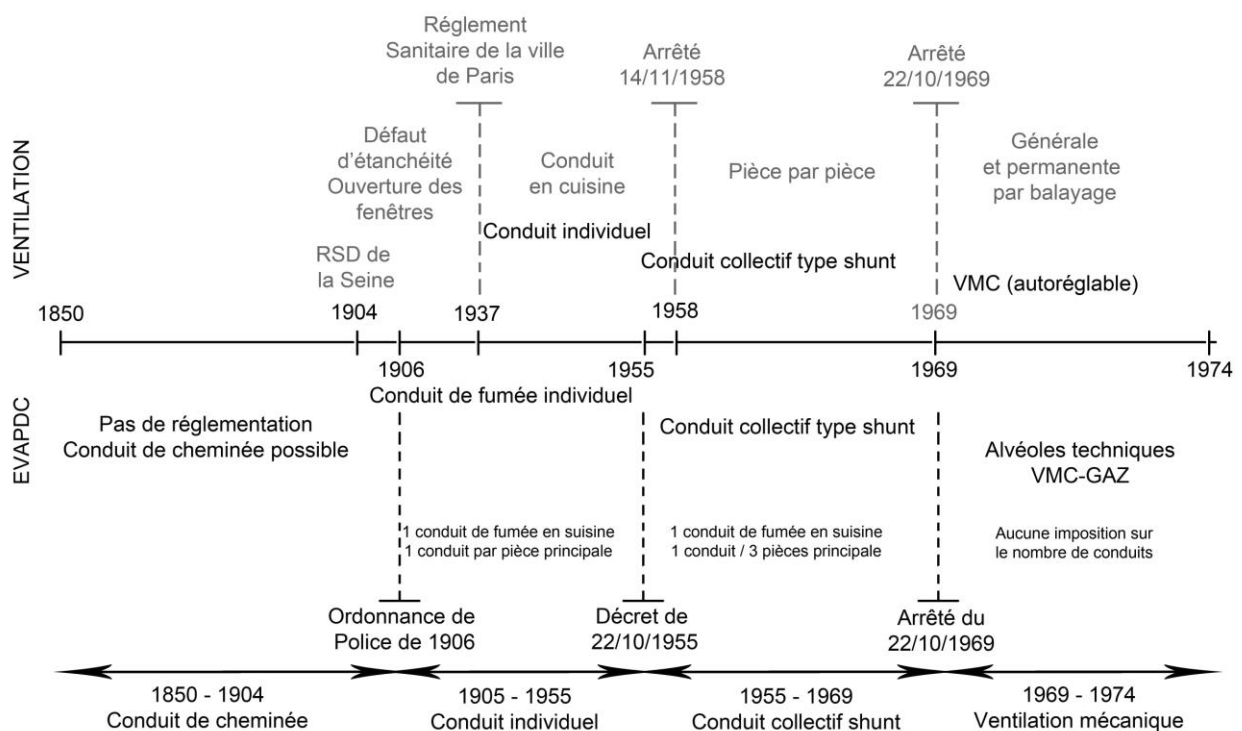


Figure 28 : chronologie des produits de combustions rencontrés de 1850 à 1974. Source : Le guide ABC : Amélioration thermique des bâtiments collectifs construits de 1850 à 1974. Paris : Parisiennes, 2011, p 125.

L'aération mécanique est utilisée massivement dans les bâtiments non résidentiels en France des 1960 et 1970. Or, après la crise de 1974, l'utilisation de cette technique est mise en question. On revient alors à la ventilation naturelle (meilleure pour la santé, le rendement au

¹⁶⁴ Arrêté du 24 mars 1982 modifié relatif à l'aération des logements (JO du 27 mars 1982) et Arrêté du 28 octobre 1983, modifiant l'Arrêté du 24 mars 1982, relatif à l'aération des logements (JO du 15 novembre 1983).

¹⁶⁵ Sauf dans les bâtiments sportifs où la ventilation mécanique est la seule admise.

travail et l'économie en énergie)¹⁶⁶. Raymond Ayoub indique certaines erreurs constructives fréquentes dans les années 1960 - 1970, telles que :

« Façades vitrées sans mesures de contrôle solaire, écrans solaires fixes qui interceptent le rayonnement solaire en hiver et non en été, installations de protection solaire qui assombrissent les locaux et obligent de recourir, durant le jour, même en été à la lumière électrique inconfortable et source de chaleur, mise en œuvre erronée de panneaux légers et isolants faisant fonction de murs et cloisons. De tels panneaux empêchent le stockage de la chaleur [...], mise en œuvre erronée de matériaux très isolants [...], utilisation erronée de couches ou de volumes d'air qui suppriment l'effet bienfaisant de la masse des maçonneries lourdes, mise en œuvre de verres spéciaux onéreux qui ne réalisent pas la protection solaire à laquelle ils sont censés être destinés et assombrissent inutilement les locaux »

Il explique l'importance de la ventilation naturelle et propose l'utilisation de la climatisation naturelle (chauffage naturel, du refroidissement et la ventilation naturelle) afin de faire une économie d'énergie considérable en gardant les meilleures conditions de confort thermique. L'utilisation de la climatisation naturelle permet de profiter des mesures constructives simples et valables pour le chauffage en hiver comme pour le refroidissement en été et la ventilation naturelle en toutes saisons par l'« agencement organique des éléments et matériaux de construction usuels qui permettra au bâtiment d'être réceptif à la chaleur en hiver, donc de se chauffer et d'émettre sa chaleur en été, donc de se refroidir »¹⁶⁷. Ayoub montre que la ventilation naturelle s'effectue par les ouvertures en façades et sur les cours intérieures éventuelles, c'est-à-dire par une disposition rationnelle des parties ouvrantes dans les baies vitrées¹⁶⁸. Il montre l'exemple du bâtiment de la haute Cour de Justice Constitutionnelle d'Allemagne Fédérale à Karlsruhe où le maître de l'ouvrage (le Gouvernement Fédéral) exige que

« les juges et les fonctionnaires n'aient à se préoccuper ni des stores extérieurs de protection solaire ni de la ventilation. [...] la ventilation diurne et nocturne la plus efficace est la ventilation naturelle due aux différences de température entre l'intérieur et l'extérieur. Elle était réalisable grâce à des panneaux vitrés basculants de 0,25 m de hauteur, en haut et en bas des baies vitrées. Pour des raisons de composition des façades, les panneaux supérieurs ont été remplacés par un système de ventilateurs cylindriques de 0,15 m de diamètre incorporés au-dessus des baies vitrées directement sous les plafonds [...]»¹⁶⁹.

¹⁶⁶ AYOUB, Raymond, .Chauffage et climatisation... *Op. Cit.*, P 34.

¹⁶⁷ *Ibid.*,

¹⁶⁸ *Ibid.*, 36.

¹⁶⁹ *Ibid.*,

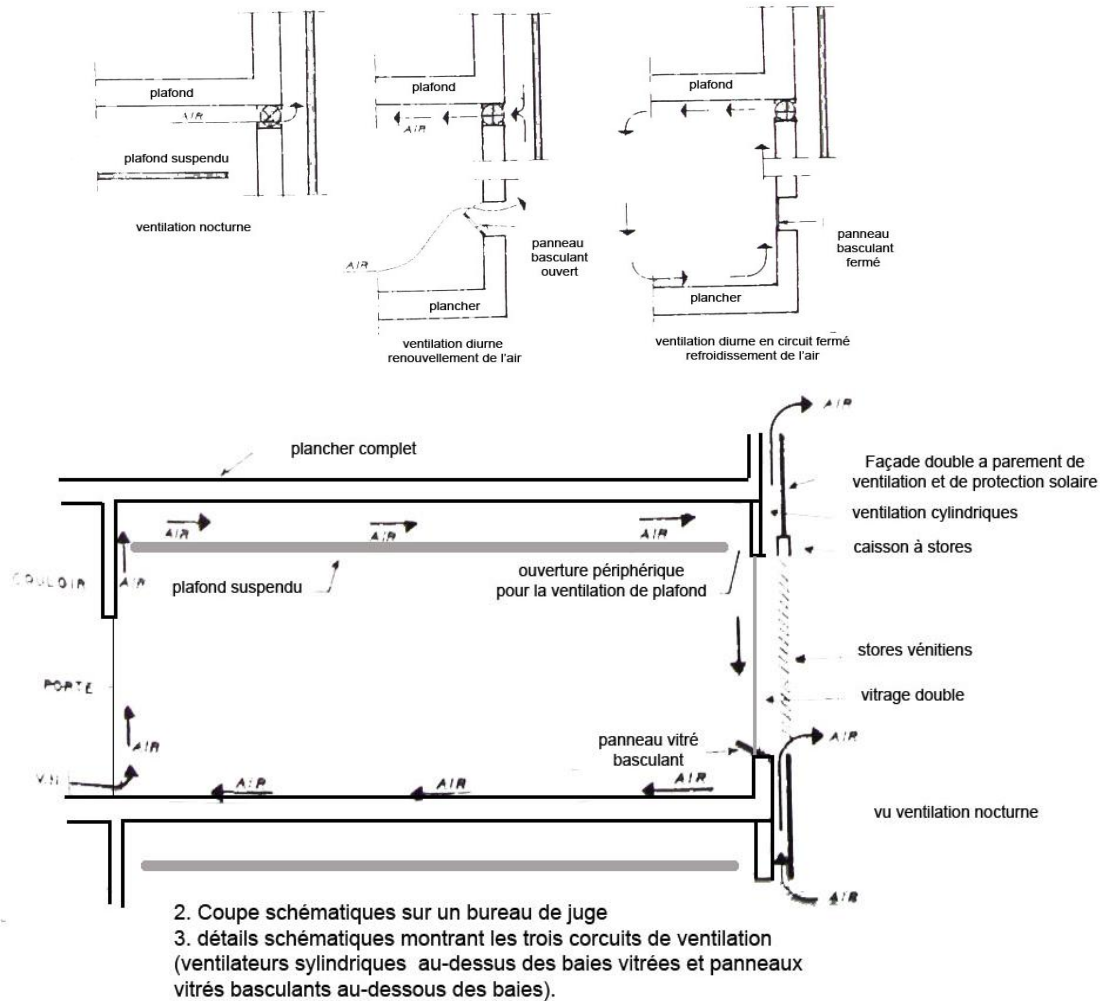


Figure 29 : système de ventilation naturelle. AYOUB Raymond, Chauffage et climatisation naturels sans équipements thermiques, In : *Technique et Architecture*, juin-juillet 1977, n° 315, pp 33-38. P 34.

Les systèmes de ventilations naturelles utilisées dans les bâtiments publics sont : ventilation d'un seul côté (l'air rentre et sort par la même façade), ventilation transversale (l'air rentre par une façade et sort par une autre). D'autres systèmes sont les capteurs de vent, utilisés traditionnellement en Iran (badgir), c'est une sorte de cheminée montée en toit, elle capte le vent à grande hauteur, où la vitesse et la pression d'air est plus élevée que bas qui conduit à augmenter le débit de ventilation. La ventilation par cheminée est également utilisée. D'autres solutions plus récentes sont : la « ventilation hybride » qui est « un système de ventilation naturelle assistée mécaniquement afin de compenser le manque de tirage thermique pour atteindre les débits de ventilation nécessaires. Son mécanisme s'ajoute aux flux naturels et

permet de minimiser la consommation d'énergie sans réduire les débits d'extraction »¹⁷⁰. « Ventilation par atrium », ce système agit comme une cheminée solaire géante.

En ce qui concerne la ventilation mécanique, deux groupes de systèmes sont mis en œuvre. La ventilation simple flux, et la ventilation « double flux ». Dans le tertiaire, le « double flux » est utilisé souvent. C'est un système intermédiaire entre la simple ventilation et la climatisation, permet de traiter l'air qui pénètre dans les locaux. Trois types de traitements sont possibles. La plus pratiquée est la récupération de chaleur et l'insufflation et l'extraction de l'air mécaniquement, il est possible d'introduire dans le circuit un récupérateur de chaleur (statique, à batteries, à eau glycolée, tubes de chaleur...). Autre traitement pratiqué : refroidissement adiabatique. Ce système de refroidissement passe par la saturation en vapeur d'eau de l'air extrait. C'est un système simple, efficace, peu onéreux, mais qui ne permet pas de contrôler la température de soufflage, comme l'autorisent ceux avec groupe frigorifique.

La climatisation constitue un domaine nouveau, elle est utilisée dès la fin des années 1980. La réglementation de 1988 est favorable à la pénétration de la VMC dans le tertiaire. Elle institue des dispositions qui permettent de mieux adapter la ventilation à l'usage des locaux.

Les bouches d'extraction sont caractérisées par les normes (NF EN 13141-2 et NF EN 13141-10) par leurs débits nominaux exprimés en mètres cubes par heure. Ils sont de trois variétés : Grille d'extraction fixe, bouche d'extraction autoréglable et bouche d'extraction hygroréglable¹⁷¹.

L'isolation thermique

La réglementation thermique issue de la loi du 29 octobre 1974 relative aux économies d'énergie¹⁷² exige de prendre des mesures immédiates pour réduire les importations énergétiques. Cela conduit à des changements dans les décrets thermiques : le document technique unifié (DTU) thermique, dont la rédaction de base date de 1963, est alors très rapidement modifié. Les professionnels du bâtiment adaptent vaille que vaille ces règles et

¹⁷⁰SELLIER, Dominique. et al. *Ventilation naturelle et mécanique*. Les guides BIO-TECH, février 2012, 60 p, p 20.

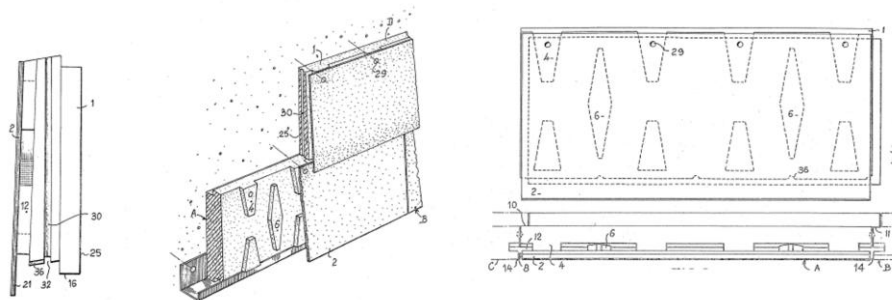
¹⁷¹ Guide de la ventilation naturelle et hybride VNHY : Conception, dimensionnement, mise en œuvre, maintenance. Habitat collectif et individuel, septembre 2010, p 20.

¹⁷² BOUHOMME, André. *Isolation thermique des bâtiments*, France : Moniteur, 1978, 726 p.

normes. On commence alors à isoler les combles, les murs et à promouvoir le double vitrage dans les constructions neuves.

Le mur extérieur joue alors un rôle important dans l'isolation thermique du bâtiment. Il peut être fait de matériaux isolants — un mur à isolation répartie : mais la déperdition est importante par les ponts thermiques ainsi que les fissurations. Soit revêtu comportant d'un isolant (isolation par l'intérieur ou isolation par l'extérieur). L'application de l'isolation thermique dans la construction se fait :

- Par l'extérieur : les procédés relèvent généralement de l'avis technique, accordé pour un complexe indissociable « colle-isolant-enduit » ou « fixation-isolation bardage ». D'autres techniques apparaissent aussi ; il s'agit essentiellement des : vêtements isolants ou complexes préfabriqués (systèmes sans lame d'air) et des enduits légers d'isolation complémentaire ; crépi isolant, à base de vermiculite, moins performant (épaisseur d'isolation plus faible), mais permettant de ne pas trop perturber le régime hygrothermique du bâtiment.
- Par l'intérieur : panneaux isolants composés d'un isolant alvéolaire ou de laine minérale et d'un parement assurant la protection au feu des « alvéolaires » et la tenue mécanique des laines minérales.
- Remplissage d'une lame d'air existante par un isolant : déversement de vermiculite ou de copeaux de PCV par des trous pratiqués dans la contre cloison, ou expansion in situ de mousse. A manipuler avec précaution et à confier à des entreprises spécialisées (pour éviter des problèmes de mise en œuvre et de contrôles, risque de déformation du mur).



- Figure 30 : Vêtement à lame d'air ventilée, Inventeurs : Ovaert Francis; Reneault Patrick, date de publication : 1984/09/14

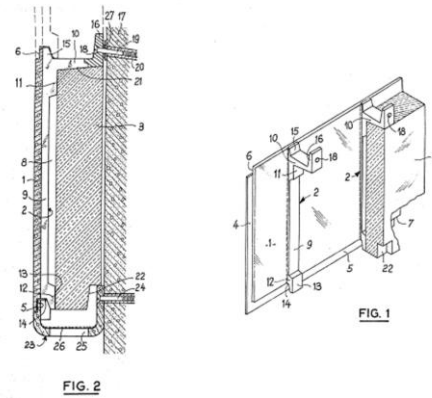


Figure 31 : élément d'isolation thermique d'une paroi par l'extérieur, inventeur: Damiguet Jean-Jacques, Deperne Yves, 1982/05/21, Source : Inpi.

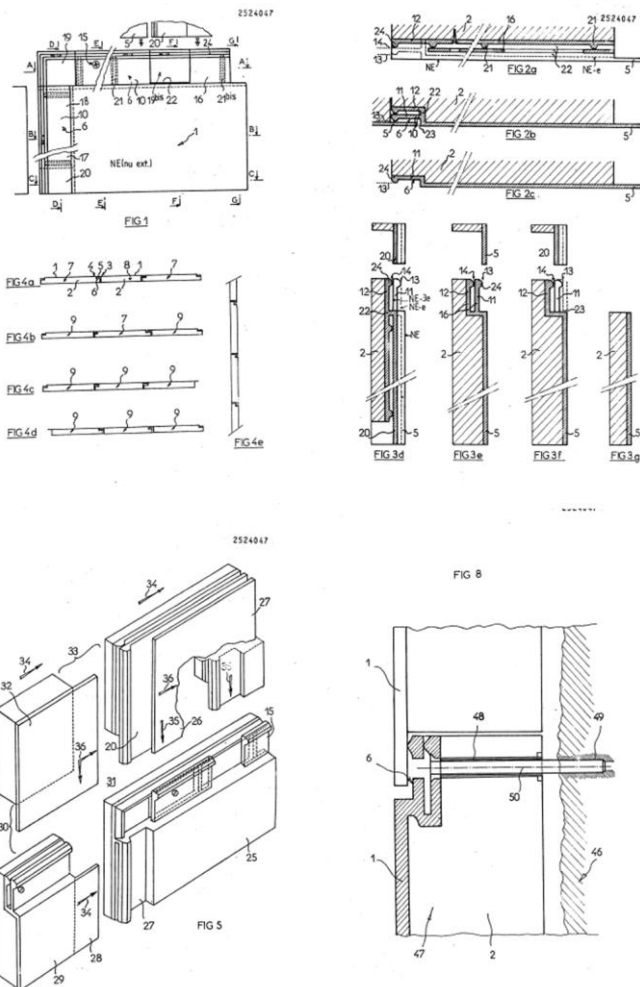


Figure 32 : Élément modulaire de revêtement de parois et notamment d'isolation par l'extérieur Demandeur : NICKELS JEAN CHARLES, Date de priorité : 1982-03-26, Inpi.

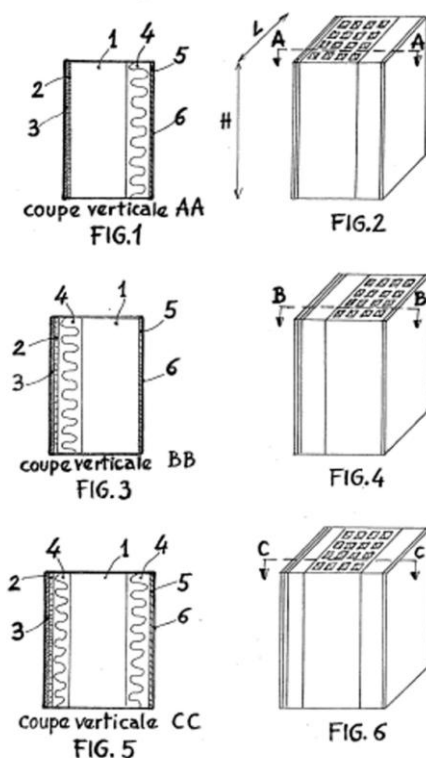


Figure 33: Élément composite préfabriqué pour mur comportant une brique de grande dimension revêtue des matériaux d'isolation et de revêtements intérieur et extérieur. Date de dépôt 1er juillet 1980.

Le marché européen de l'isolation thermique extérieure

L'isolation par l'extérieur existe avant la réglementation thermique en France et en Europe. Les premières expérimentations d'enduit sur isolant datent de la fin des années 1940 en Suède¹⁷³, et des années 1950 en R.F.A et en Suisse. En 1979 avec le second choc pétrolier, les premiers pays à développer ce marché sont la République Fédérale d'Allemagne (RFA), l'Autriche, la Suisse, et la France. On peut expliquer leur initiative par la capacité des intervenants à relever les défis liés à une « démassification » des marchés du bâtiment, et par la recherche d'améliorations dans la compétitivité des systèmes, tant dans leurs constituants

¹⁷³ En réalité, la pratique de l'isolation extérieure des bâtiments dans les pays scandinaves a commencé dès la fin des années 40, avec l'utilisation de laine minérale recouverte d'un mortier de ciment à prise lente, hautement renforcé. Cette utilisation toutefois, très limitée pendant les années 50 et 60, ne s'est vraiment répandue qu'à la fin des années 70, époque à laquelle on voit un développement réel et l'adoption par les autres pays scandinaves. Erik Brandt, « Situation propre à la Finlande et aux Pays Scandinaves », P 58/ *Premier colloque européen sur l'isolation thermique des façades, Une technologie européenne, Paris 3 et 4 novembre 1988*, Paris.

qu'au niveau de la mise en œuvre¹⁷⁴. En revanche, les grosses entités territoriales européennes développent des cultures techniques différentes : si la maison individuelle est la forme prédominante de construction pour les logements, l'isolation peut y être placée à l'intérieur ou dans une double paroi.

Les marchés allemands et français augmentent de moitié entre 1979 et 1980¹⁷⁵ avec (environ 12.10⁶ m² pour la seule isolation sous enduit pour le marché allemand et 7.10⁶ m², toutes techniques confondues pour le marché Français). Les différentes solutions gagnent en diversité technique et architecturale, l'isolation par l'extérieur se développe tant en Europe du Sud (principalement sous forme d'enduit sur isolant) qu'en Europe du Nord. À cette époque, les marchés de l'Europe du Sud et de l'Europe du Nord apparaissent encore dans une phase de développement, avec de 1,5 à 2.10⁶ m² posés en Italie, 1,5 en Scandinavie et un million en Grande-Bretagne. Approximativement, le marché en m² se décompose entre 65% réalisés par isolant sous enduit et 25% sous forme de bardages, vêtements et enduits légers se partagent les 10% restant¹⁷⁶.

En 1985, la famille des isolations sous enduit mince prédomine avec 56% du marché. Cette technique bénéficie de son antériorité, tant au niveau de la formulation (industriels des peintures et enduits¹⁷⁷), que de la mise en œuvre (groupements ou franchisés...). Cette technique a progressé de 40% par an au début des années 1980. Les procédés par bardages rapportés, représentent, 27% du marché. A l'intérieur de cette famille, le premier bardage utilisé reste l'amiante-ciment, mais on assiste à une multiplication des solutions tant sous l'angle architectural que sous l'angle des matériaux (aluminium, pierre reconstituée, tuiles ou PVC). Les procédés par enduits hydrauliques occupent 7% du marché. Les vêtements, au début des années 1980, n'occupent qu'une place modeste sur le marché, 6%. Dès sa phase de démarrage, ce créneau a attiré de nombreux concurrents d'horizons différents (détenteurs de procédés isolants sous enduit ou par bardage par exemple). Le nombre d'Atec est ainsi passé de un en 1981 à quatre en 1984, quinze au début de 1985. Elles permettent une intervention unique sur la façade et autorisent une préparation sommaire du support. Les positions

¹⁷⁴ PLANCHE, Emmanuel. Situation comparée des différents marchés en Europe, *Premier colloque européen sur l'isolation thermique des façades, Une technologie européenne*, Paris, 3 et 4 novembre 1988, P 7- 18.

¹⁷⁵ *Ibid.*,

¹⁷⁶ *Ibid.*,

¹⁷⁷ Sur les 120 avis techniques en vigueur début 1985, 70 relevaient de ce procédé contre 4 d'enduits hydrauliques, 25 de bardages rapportés (+3 de bardages par enduit armé), 45 de vêtements et 4 d'enduits allégés. PLANCHE, Emmanuel. ABRAHAM, Bernard. Les sociétés principales de marché de l'isolation en 1985. L'isolation thermique par l'extérieur. *CSTB*, observatoire technico-économique du bâtiment, 1985, 30 p.

respectives évoluent, alors que l'isolation sous enduit mince passe de 35% du marché en 1979 à 56% en 1984, l'isolation sous enduit hydraulique régresse de 25% en 1979 à 7% environ en 1984 ; les procédés par bardage, bien qu'en recul relatif, conservent la deuxième place parmi les techniques utilisées. Ce diagramme retrace l'évolution de ces différentes techniques, entre 1979 et 1985 : après une forte croissance (+25% par an), le marché de l'isolation thermique par l'extérieur atteint désormais une vitesse de croisière plus modérée (+10% par an environ). C'est essentiellement la technique d'isolation sous enduit mince qui bénéficie du triplement du marché¹⁷⁸.

Isolation thermique en France, inventions et intervenants

En France, les techniques d'isolation thermique voient leur production augmenter massivement après l'application de la réglementation thermique. Les techniques d'isolation sont appliquées sur les façades lourdes en maçonnerie ou en béton qui font l'objet de deux documents normatifs : le D.T.U.20.11 d'octobre 1978 « Parois et murs en maçonnerie » et le D.T.U.23.1 d'octobre 1975 « Parois et murs en béton banché ». Ces deux textes comportent en commun, dans leur titre, les mots « parois et murs ». Dans un dossier Isolation, « L'isolation thermique des façades », publié dans le *Cahier Techniques du Bâtiment*¹⁷⁹, nous trouvons une définition de la différence entre parois et murs :

« Une paroi est un ouvrage vertical, autostable, réalisé : soit par assemblage, à joints de mortier d'éléments de maçonnerie ou de plâtrerie (moellons, pierre de taille, briques pleines, briques creuses, blocs pleins en béton cellulaire autoclavé, carreaux de plâtre), soit par coulage entre deux coffrages (béton banché), soit par mise en place d'éléments préfabriqués de hauteur d'étage, tels que les cloisons préfabriquées »¹⁸⁰.

Quant au mur, il peut être composé par une ou plusieurs parois. « Le mur, c'est l'ensemble des parois séparant soit deux pièces d'un même bâtiment, soit une pièce et l'extérieur »¹⁸¹.

EDF renforce aussi le développement de l'isolation thermique pour répondre aux exigences de performance dans les bâtiments utilisant le chauffage électrique intégrale¹⁸². En

¹⁷⁸ *Ibid.*,

¹⁷⁹ « L'isolation thermique des façades ». *Cahier techniques du bâtiment*, juin-juillet 1980, n° 29, p 45.

¹⁸⁰ *Ibid.*,

¹⁸¹ *Ibid.*,

¹⁸² Isolation thermique des murs par l'extérieur. *Technique d'amélioration de l'habitat existant*, Paris : EDF, juillet 1986, 60 p ; Isolation thermique des soubassements et planchers bas, *Technique d'amélioration de l'habitat existant*, Paris : EDF, novembre 1984, 52 p ; Isolation thermique des toitures des logements existants. *Technique d'amélioration de l'habitat existant*, Paris : EDF, 52 p ; amélioration de l'isolation thermique des fenêtres et portes. *Technique d'amélioration de l'habitat existant*, Paris : EDF, mai 1984, 44 p ; Isolation

analysant les brevets déposés en France, nous constatons l'évolution massive de ce secteur dès la première crise pétrolière. Ce développement ralentit un peu après le contre choc pétrolière en 1986 et revient beaucoup plus fort dans les années 1990–2000. Cette évolution peut être expliquée par les nouvelles exigences écologiques et environnementales, surtout après le sommet de Rio en 1992. Les exigences des réglementations thermiques et la nécessité de réduire l'émission de gaz à effet de serre sont les facteurs de cette croissance.

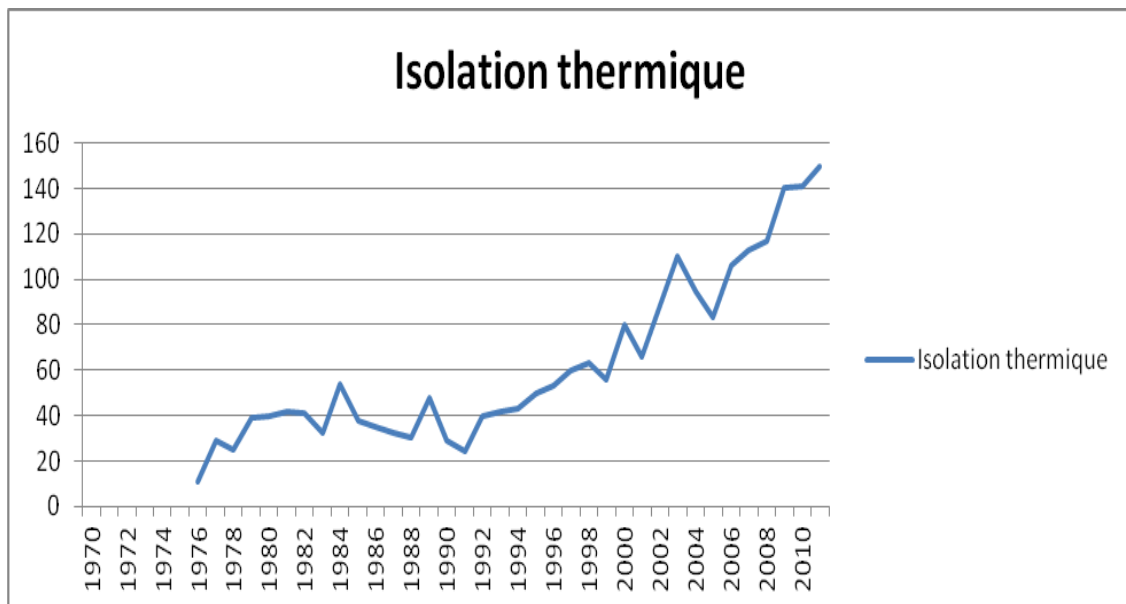


Figure 34 : Dépôt des brevets d'isolation thermique en France dès 1970. Source : INPI, http://fr.espacenet.com/advancedSearch?locale=fr_FR

Plusieurs entreprises profitent de cette nouvelle situation pour introduire des nouveaux produits à leurs chaînes de production. Ils ont généralement une activité principale hors isolation par l'extérieur et cherchent à assurer un débouché stable à leurs produits en développant leur réseau d'applicateurs ou de distributeurs. Les entreprises, dont l'activité principale est la peinture, s'intéressent aux enduits et peintures isolants. Les spécialistes de l'aluminium développent des productions de bardage et vêtements. Les entreprises de construction développent également l'isolation thermique.

Selon Emmanuel Planche, en 1985, une bonne centaine de firmes sont présentes. Parmi ces sociétés, dix disposent de la moitié du marché (en m² couverts annuellement) ; parmi les leaders dans chaque technique, on peut citer : COFAC, SOLOR et PROLIFIX en isolant sous

thermique des murs par l'intérieur. *Technique d'amélioration de l'habitat existant*, Paris : EDF, décembre 1985, 56 p.

enduit ; ETENRIT et ARDOISIERES D'ANGERS en bardage rapporté ; ALCAN et CROUZIER en vêtue ; WEBER et BROUTIN en mortiers isolants¹⁸³.

Tableau 1: les sociétés principales de marché de l'isolation en 1985. L'isolation thermique par l'extérieur, Emmanuel PLANCHE, Bernard ABRAHAM, CSTB, observatoire technico-économique du bâtiment, 1985, 30P.

	Activité principale	Activité isolation par extérieur	Réseaux principaux
LAFARGE	Ciment	PROLIFIX, PARETAN-GAROCHE, ZRYD	X'THERM
ELF	Pétrole	LA SEIGNEURIE, SICOFF, ELFI (peinture) (enduits) (isolants)	SOFREV Peintres
COFAC	Grossistes en peinture	Producteur enduit, colles	Peintres
SOLOR	Enduits, Colles	Producteur colles, enduits de parement	Peintres
ISOVER	Isolant	Isolants spécifiques	Négociants
ETERNIT	Fibre ciment PVC, tuiles	Bardages	Négociants
ARDOISIERES D'ANGERS	Ardoises	Bardages	Entreprises ou Négociants
CEGEDUR	Aluminium	Bardages, vêtues	Entreprises ou Négociants
ALCAN	Aluminium	Bardages, vêtues	Entreprises
WEBER et BROUTIN	Enduits Colles	Enduit léger	Négociants (Maçons)
CROUZIER	Plafonds volets	Clins, accessoires	Entreprises
CIB-SMAC	Etanchéité Composants	Vêtues	Distributeurs agréés
BOUYGUES	B.T.P.	Bardages	Groupe
PIBRALITH	Matériaux de construction	Enduit, isolants	

Les matériaux d'isolation se multiplient également dans cette période. Sont considérés comme isolants, lorsqu'ils sont appliqués sur une épaisseur d'au moins 3 cm. Jusqu'au années 1990, nous comptons les matériaux suivantes (dite isolants) : panneaux tendres de fibres de bois, panneaux tendres de fibres de bois asphaltés, laines de verre ou de roche, liège, mousses de polystyrène expansé ou extradé, mousses de polyéthylène, mousses rigides à base de polychlorure de vinyle ou de polyuréthane, mousses formo-phénoliques, vermiculite ou perlite, verre cellulaire et mousses d'urée-formol.

¹⁸³PLANCHE, Emmanuel. ABRAHAM, Bernard. L'isolation thermique par l'extérieur. CSTB, observatoire technico-économique du bâtiment, 1985, 30 p.

Du G au solaire passif : une révolution chez les thermiciens

Après la crise de 1974, le métier de thermicien connaît un développement important. Durant cette période de politique d'économie d'énergie, le petit nombre des thermiciens français font de gros effort de recherches, par des travaux rentables et financés sur la première moitié des années 1980¹⁸⁴. Avec la publication de la réglementation thermique de 1974, le travail de thermicien se réduit à calculer l'épaisseur de parois pour arriver à un résultat demandé. Jean-Pierre Auriault affirme que

«80% de la thermique du bâtiment n'est que l'application servile d'une réglementation qui réduit la conception à une somme de multiplications et d'additions fastidieuses. Il y a longtemps que le thermicien n'invente plus. Il y a longtemps aussi que l'architecte ne demande plus à son bureau d'étude que d'être conforme à la réglementation garde-fou »¹⁸⁵.

Les thermiciens se trouvent confrontés à des problèmes de deux ordres. L'un purement thermique : comment évaluer précisément mais simplement une disposition bioclimatique. L'autre structurel : comment répondre et intervenir dans le projet d'un architecte. La thermique traditionnelle ne considère que les déperditions. Ceci permet de les additionner et de faire des calculs annuels, et réduit ainsi la thermique des bâtiments à une simple isolation des parois. L'architecte peut alors se permettre toutes solutions sous réserve d'y ajouter les X cm d'isolation calculés par le bureau d'étude thermique pour parvenir au K. A ce régime, les vitrages ne sont évidemment pas favorisés. C'est avec la publication de la RT 1982¹⁸⁶ que les apports solaires sont pris en compte. Le calcul thermique devient alors plus complexe¹⁸⁷ car à un instant donné nous devons envisager les déperditions et les apports solaires combinés au stockage déstockage des calories solaires. Il faut aussi prendre conscience des conditions climatiques et les caractéristiques du bâtiment. Il faut donc, à tout instant faire la somme algébrique des échanges thermiques. « Évaluer correctement l'aspect gain-déperdition-stockage-déstockage nécessite donc de faire des calculs par tranches de temps : la semaine est plus précise que le mois, l'heure plus précise que le jour ». A cette

¹⁸⁴ 750 millions de francs d'honoraires d'ici 1985 sont prévus par l'Agence pour les économies d'énergie pour le seul secteur résidentiel et tertiaire, AURIAULT. *Op. Loc.*

¹⁸⁵ AURIAULT, Jean-Pierre. De l'architecture bioclimatique : outils, modèles et représentations. In : *Technique et Architecture*, juin-juillet 1979, n° 325, p 39.

¹⁸⁶ « Nouvelle (la) réglementation thermique 1982 ». In : *Le Moniteur des Travaux publics et du Bâtiment*, n° 23, 7 juin, 1982, pp. 79-80. « Nouvelle (la) réglementation thermique », In : *CSTB magazine*, n° 3, fév. 1982, pp.2-13.

¹⁸⁷ On pense à prendre en compte les 290 kWh de flux solaire qui traversent une vitre sud par rapport aux 180 kWh de déperdition, cela devait arriver (chiffres pour 1 m² de vitrage, en région parisienne, pour une saison de chauffe).

première difficulté s'ajoute celle de passer d'un calcul à l'équilibre (chauffage = déperditions) à un calcul en régime dynamique, « je capte, je stocke, je restitue »¹⁸⁸.

La question à poser alors est : quel thermicien peut, face à un plan masse, un dessin de façade, une composition de mur ou un plan de logement, apporter une information qualitative et quantitative utile à l'architecte ? Sachant qu'il reste bien sûr à vérifier que l'architecte se pose, et sache poser, les questions pertinentes. Bien qu'elle ne soit pas directement opérationnelle, cette connaissance de base permet, outre d'éviter des contresens thermiques, d'investir la terminologie spécifique du thermicien. Sur ce domaine, plusieurs articles et livres sont publiés, nous citons par exemple : Les articles de Gilles Olive dans *Technique et Architecture* n° 315, les livres *l'homme l'architecture et le climat*¹⁸⁹ de Givoni notamment, les conférences, les séminaires de formation (GEPA, ENPC, ESIM)¹⁹⁰ et les *Cahiers du CSTB*. Or la forme très « ingénieur » de certains et leurs aspects « scientifiques » les rend difficilement assimilables par des architectes. Il faut noter aussi que cette information touche principalement les élèves et les jeunes architectes dans les années 1970-1980, disponibles pour investir un sujet non rentable à court terme. Or la plus part de ces architectes ne trouvent pas forcément un travail dans la thermique faut de manque d'intérêt et prise de conscience chez les inviteurs.

Pour une construction solaire passive, sont à prendre en compte le contexte climatique local et le bilan thermique réel en régime dynamique. Sur ce sujet, les architectes et les ingénieurs américains viennent en tête. En France, quelques recherches sont effectués dans les années 1970 - 1980, sur l'habitat-patio méditerranéen, sur les rues et passages couverts, sur les serres climatiques, sur les configurations urbaines. Les résultats de l'appel d'offres de recherches du Plan Construction – CORDA « Climat, architecture et forme urbaines » sur les outils de conception montrent, cependant, le très petit nombre d'architectes motivés par le thème, et la lenteur de la pénétration de la problématique bioclimatique – à rapprocher bien sûr du peu de disponibilité des thermiciens. Les opérations prototypes ou expérimentales aident, à l'époque, à vérifier les prévisions de calcul tant au niveau du comportement thermique que des coûts d'investissement.

¹⁸⁸ AURIAULT, J.-P. *op. Loc.*

¹⁸⁹ GIVONI, Brauch. *L'homme, l'architecture et le climat*. Paris : Moniteur, 1978, 460 p.

¹⁹⁰ Le Groupe pour l'Éducation Permanente des Architectes (GEPA), est une association à but non lucratif créée le 25 juin 1968. ENPC : Ecole Nationale des Ponts et Chaussée. École Supérieure d'Ingénieurs de Marseille.

Dans le cadre de l'opération H2E 85, plusieurs recherches sont mises en place afin d'arriver à la réglementation thermique de 1985. Les résultats de ces recherches sont publiés dans un livre de trois volumes consacrés à l'énergétique des bâtiments. Le calcul des enveloppes du bâtiment fait l'objet du deuxième volume. Ce volume compile les résultats des études sur l'enveloppe et la transformation de la chaleur, aide à la conception... etc. Dans ce cadre, Dominique Légendrer définit l'« enveloppe », comme : « toute construction destinée à protéger des objets et des personnes (protection vis-à-vis du climat, du bruit, etc...). [...] Nous les diviserons dans deux types de fonctions : Les fonctions de résistance, qui consistent à : transmettre les charges des superstructures jusqu'aux fondations, Assurer la rigidité globale et locale du bâtiment, Assurer la stabilité. Les fonctions de clos et couvert, qui signifient la protection du contenu de l'enveloppe vis-à-vis de l'extérieur »¹⁹¹. Il présente ensuite deux types d'enveloppes. Le premier est « enveloppe dissociée » qui contient une ossature résistante pour répondre à la première fonction et un matériau de remplissage pour répondre à la deuxième. Le deuxième est « enveloppe intégrée », où les façades assurent simultanément les deux fonctions. L'enveloppe du bâtiment est aussi l'échangeur entre l'intérieur et l'environnement. Le comportement énergétique d'un bâtiment fait intervenir des transferts de chaleur¹⁹² mais également les transferts de masses pour l'air et l'humidité¹⁹³. C'est Jean Sicard qui fait les études concernant les caractéristiques d'échange des parois dans la même.

Conclusion :

En France, les thermiciens se trouvent devant un vaste marché après la crise pétrolière. La réglementation thermique de 1974 dans les logements neufs, exige la réduction de la consommation énergétique. Il faut aussi prendre en conscience les conditions climatiques, les caractéristiques du bâtiment, il faut donc, à tout instant faire la somme algébrique des échanges thermiques. Les problèmes de communication entre architecte et thermicien compliquent souvent le travail. Les architectes n'ont alors pas les moyens, ni les connaissances suffisantes concernant la thermique du bâtiment. Les écoles d'architecture ont commencé à s'intéresser à ce type de sujet dans les années 1970.

¹⁹¹ LEGENDRE, Dominique. Description structurelle des enveloppes : Calcul des enveloppes. In : *Énergétique des bâtiments*, vol 2, Coordonné par R. DEHAUSSE, Pyc édition, 1988, p 4.

¹⁹² Ils ont lieu par conduction dans les parois, par convection et par rayonnement de courte longueur d'onde (rayonnement visible d'origine solaire) ou de grande longueur d'onde (rayonnement thermique ou infrarouge).

Des nouveaux matériaux sont utilisés comme des nouvelles techniques pour l'enveloppe. Le bâtiment change de peau de la paroi lourde à la paroi légère. Le verre est utilisé massivement dans les années 1980-90. La technique évolue avec l'apparition du Vitrage Extérieur Parclose (VEP), du Vitrage Extérieur Colle (VEC) et du Vitrage Extérieur Accroche (VEA). Les matériaux d'isolation se développent aussi. Le marché français est le deuxième en Europe, en 1985 avec 7.10^6 m^2 , toutes techniques confondues après le marché allemand (environ 12.10^6 m^2 pour la seule isolation sous enduit). Les techniques d'isolation par l'extérieur s'accroissent également. La ventilation fait une nouvelle poussée dans les bâtiments publics avec la réglementation thermique de 1988. C'est aussi le début d'un grand marché pour la climatisation.

¹⁹³ SICARD, Jean. Introduction à l'étude des échanges dans le bâtiment, Calcul des enveloppes. In : *Énergétique des bâtiments*, vol 2, Coordonné par R. DEHAHUSSE, Pyc édition, 1988, 353P, p. 21.

Chapitre 3 : Le chauffage en France

Chapitre 3 : Le chauffage en France	106
La crise pétrolière et ses conséquences	113
Économie de consommation du chauffage :	114
Chauffage électrique :	117
Le chauffage au gaz :	122
Chauffage solaire :	123
La géothermie :	125
La contribution de la géothermie au bilan énergétique :	125
Les pompes à chaleur (PAC)	127
L'utilisation de la géothermie :	128
Le chauffage urbain à Paris après 1974 :	130
Système de la « bi-énergie » :	133
Le chauffage synergétique	133
L'énergie thermique de récupération :	134
Conclusion :	135

En France, dès la fin de XVIII^e siècle, les modes de chauffage, dans les villes, varient considérablement d'une habitation à l'autre. L'utilisation du brasier, dans les logements pauvres, sert à chauffer la soupe et à dessécher les murs trempés¹⁹⁴. À ce propos, André Guillerme explique que « ici point d'étanchéité car le béton d'argile ou le mortier de chaux grasse, en contact direct avec l'humidité extérieure et le sous-sol mouillé par la nappe ou le ruissellement des eaux pluviales, assure une forte hygrométrie. On se chauffe d'abord pour se sécher et on dort habillé, tous ensemble, les uns contre les autres, sur le grabat et sous l'édredon »¹⁹⁵. Le chauffage dans les appartements plus aisés est réalisé par un fourneau à charbon de bois dont le conduit d'évacuation est raccordé à la cheminée ou à une ouverture donnant la rue¹⁹⁶. La cheminée, dans les hôtels, est un monument qui classe son propriétaire selon sa taille et son décor¹⁹⁷.

Les recherches concernant l'amélioration de la « sensibilité thermique » des composants de l'enceinte et la « résistance thermique » sont étudiées par Fourier, préfet de l'Isère, après l'achèvement du « petit âge glaciaire »¹⁹⁸. Dans la revue *History and Technology*, André Guillerme explique les travaux de Fourier sur ce sujet. Il montre que « la résistance thermique change avec l'épaisseur et la nature de l'enceinte et mesure la propriété qu'elles ont de retenir la chaleur en opposant une résistance plus ou moins grande, à son passage dans l'air extérieur »¹⁹⁹. Il cite aussi que « les corps vivants sont des foyers d'une chaleur presque constante [...] on peut donc prévoir et régler avec plus d'exactitude l'élévation des températures dans les lieux où l'on réunit un grand nombre d'hommes [...], dans les serres, les ateliers, ou dans plusieurs établissements civils tels les hôpitaux ou les

¹⁹⁴ GUILLERME André, Chaleur et confort, L'introduction du confort à Paris sous la restauration, In : *History of Technology*, Londres, vol. 14, 1992, p.19.

¹⁹⁵ *Ibid*

¹⁹⁶ *Ibid*

¹⁹⁷ *Ibid*

¹⁹⁸ *Ibid*

¹⁹⁹ *Ibid*

lieux d'assemblée »²⁰⁰. À cette époque la cheminée connaît un développement important. Tout le monde veut avoir une belle cheminée chez soi et pour cela, les occupants sont disposés à payer un loyer plus cher. Les études sont multipliées pour trouver les dimensions qui assurent un bon tirage sans perdre la chaleur. Les solutions viennent la plus part du temps des fumistes²⁰¹. La thèse d'Emmanuelle Gallo *Modernité technique et valeur d'usage : le chauffage des bâtiments d'habitation en France*²⁰² est pionnière dans le thème de l'histoire du chauffage. Elle étudie les modes du chauffage dès le XIII^e siècle jusqu'à les années 1970, le temps de la première crise pétrolière, notre période d'étude.

Entre 1880 et 1918, les échangeurs de chaleur sont en pleine évolution, ainsi apparaissent le mot et l'objet « radiateur »²⁰³. Après 1881, grâce au courant alternatif, l'électricité se banalise, l'éclairage se développe d'abord. L'utilisation de l'électricité comme énergie thermique sera retardée par les tarifs très élevés, cela permettra cependant de commercialiser de petits appareils d'appoints²⁰⁴. Ces nouvelles énergies, gaz, électricité, puis dérivés pétroliers (fioul), entraînent la conception et l'application de nouveaux règlements, qui tentent d'assurer la sécurité des usagers comme les modalités de contrats et de paiements. Ceux-ci se développent et se complexifient au fil du temps. Le charbon demeure toutefois l'énergie prioritaire de cette période.

²⁰⁰ Question sur la théorie physique de la chaleur rayonnante, In : *Annales de Chimie et de Physique*, 1817 : 236 et œuvres, II.

²⁰¹ André Guillerme explique dans son article « Chaleur et chauffage : l'introduction du confort à Paris sous la Restauration » le développement et la théorie des cheminées. « Chaleur et chauffage : l'introduction du confort à Paris sous la Restauration », *Op, cit.*

²⁰² GALLO Emmanuelle, *Modernité technique et valeur d'usage ... Op, cit.*

²⁰³ Les radiateurs standards viennent des USA sous brevet de l'American Radiator Compagny de Boston. Les chaudières standard sont également importées, car l'Amérique du Nord est en avance techniquement et en ce qui concerne la démocratisation des moyens de chauffage. Ces inventions présentées d'abord par la Société Hamelle seront diffusées massivement par Idéal Standard en Europe. Notons que l'American Radiator Compagny de Boston expose ses modèles de radiateur standard et de chaudières modulaires à Paris en 1900. D'ANTHONAY Léon, « Appareils et procédés généraux du chauffage et de la ventilation », *Rapport général de l'exposition universelle internationale de 1900 à Paris*, Imprimerie nationale, Paris, 1902-1906, Classe 74, p. 331-333.

²⁰⁴ Par exemple, l'appareil de chauffage électro-vapeur « L'appareil de chauffage électrique dit (électro-vapeur », *La Science et la vie* n° 59, novembre 1921.

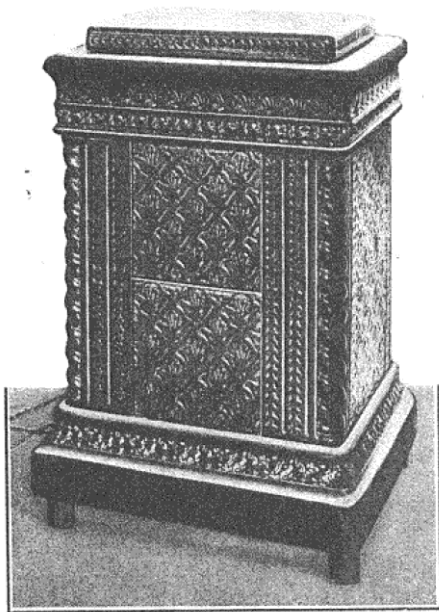
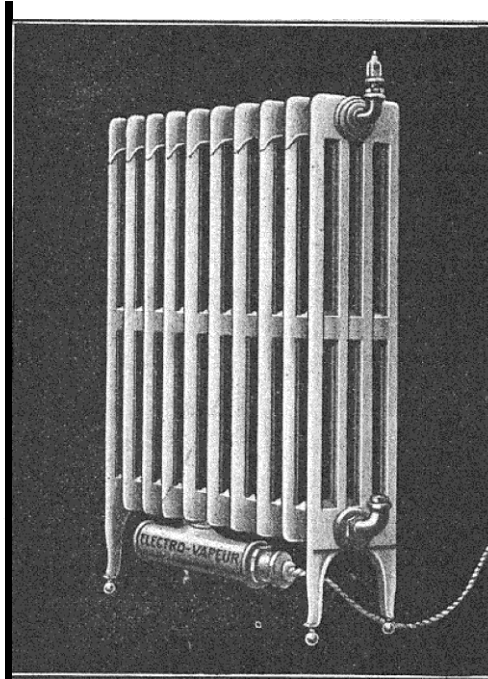


FIG. 1. - POËLE A ACCUMULATION DE CHALEUR
Ce poêle en faïence constitue un réservoir calorifique. Il emmagasine la chaleur qui lui est fournie à certaines heures, pour la distribuer ensuite lentement et régulièrement dans l'appartement.



L'ÉLECTRO-VAPEUR, AVEC SON ÉLÉMENT ÉLECTRIQUE, EST UN APPAREIL TRÈS FACILE A DÉPLACER

Figure 35 : 1. Poêle à accumulation de chaleur, 2. L'électro-vapeur, avec son élément électrique, un appareil facile à déplacer. Source, la Science et la vie n° 59n Novembre 1921.

Certains, comme Augustin Rey²⁰⁵ (1864-1934) cherche à diffuser le chauffage central dans le logement, y compris populaire. Augustin Rey préconise le chauffage à vapeur haute pression par groupe d'immeubles comme solution hygiénique et économique pour le logement social²⁰⁶. D'autres, comme Émile Vaudremer²⁰⁷ (1829-1914), soutien son utilisation pour les bâtiments publics, comme dans les bâtiments de la prison de la Santé (1864-1867)²⁰⁸, mais

²⁰⁵ Augustin Rey attachait également une importance notoire à la ventilation des logements. La biographie et bibliographie détaillées d'A. Rey sont accessibles dans l'ouvrage suivant : DUMONT Marie-Jeanne, *Le logement social à Paris 1850-1930, les habitations à bon marché*, Liège : Mardaga, 1991, p. 158-159, p. 187-190.

²⁰⁶ REY Augustin, *Comment chauffer les habitations populaires - Chauffage central par groupe d'immeubles, Compte rendu de la 37e session Clermont-Ferrand 1908 de l'Association Française pour l'avancement des sciences*, Masson, Paris, 1909, p. 1376-1388.

²⁰⁷ THOMINE Alice, *Emile Vaudremer 1829-1914, la rigueur de l'architecture publique*, Paris : Picard, 2004, p.325, qui cite le SAGERET, *Almanach et annuaire du bâtiment*, Paris, 1875.

²⁰⁸ Dans la Thèse de Gallo, elle montre ces projets et leurs types de chauffage, cité de THOMINE Alice, *Emile Vaudremer 1829-1914, la rigueur de l'architecture publique*, Picard, Paris, 2004, p. 77. cite VAUDREMER Emile, *Monographie de la maison d'arrêt et de correction pour hommes, construite à Paris, rue de la Santé, Paris, 1871, p. 4 : Toute la prison, depuis et y compris les bâtiments d'administration jusqu'à l'extrémité du quartier des condamnés, est chauffée par un appareil unique. Le chauffage est fait par l'eau et la vapeur combinées, placé dans une grande salle située sous l'un des préaux de l'infirmerie, et porte instantanément la chaleur vers les points les plus reculés. La ventilation s'opère sur tous les points de l'édifice par l'aspiration sollicitée d'une manière continue vers un foyer central.*

pas seulement. Toutefois, à part quelques résidences de luxe, le chauffage central tarde à être installé massivement dans les logements.

À la fin des années 1920s, à Paris et à Villeurbanne, un nouveau mode de chauffage apparaît : le chauffage urbain²⁰⁹. Le livre de Michel Raoult, *Histoire du chauffage urbain*, est une autre référence important sur ce sujet. Emmanuelle Gallo présente dans son travail quelques projets de chauffage « par station centrale » à Paris qui sont portés par Augustin Rey qui cherche ainsi pour les logements populaires une économie de 40 % + 10 à 15 % grâce au prix du combustible et la rentabilité de la chaudière²¹⁰. L'architecte propose aussi un réseau pour un groupe de bâtiments administratifs du VII^e arrondissement²¹¹. L'idée du réseau urbain pour la capitale est reprise par le centralien Auguste Beurrienne en 1911, après un voyage d'études en Amérique du Nord²¹².

Emmanuelle Gallo met en avant aussi une chronologie du développement du chauffage urbain à Paris, en expliquant les phases d'exploitation de réseau et les projets effectués jusqu'à la fin des années 1950.

« La première phase de l'exploitation du réseau parisien date d'octobre 1930. [...] En 1934, la CPCU procède à la modernisation de l'usine productrice et au percement du réseau de pénétration vers le Conservatoire National des Arts et Métiers en passant par l'hôtel de Ville²¹³. Deux nouvelles chaudières sont mises en service afin de renforcer le réseau, des « Badcock & Wilcox ». Elles produisent 30 t/heure à la pression de 20 kg/cm² puis 50 t/heure. [...] Le réseau s'étend vers l'Ouest et, en 1934, les canalisations atteignent l'Hôtel de Ville puis, en 1935, le réseau se poursuit jusqu'au Palais Royal. [...] Les projets d'extension suivent la rue du Louvre en direction de l'Opéra, ainsi que la rue Réaumur vers le CNAM et le Lycée

²⁰⁹ Le premier réseau est inventé dans le Nord de l'état de New-York en 1877 et la ville de New-York adopte son propre réseau dès 1880, comme un grand nombre de villes Nord Américaines dans les années qui suivent. En Europe, le premier réseau est installé à Dresde en 1900. Alors, qu'un petit village d'Auvergne possède un réseau d'eau chaude « de source » depuis des siècles, c'est l'architecte Augustin Rey qui le préconise, comme solution hygiénique et économique pour le logement social dès 1908. CHASSANG Pierre, *Chaudes-Aigues une description, une histoire*, Aurillac, 1982, 335 p.

²¹⁰ REY Augustin, Comment chauffer les habitations populaires ... *Op, cit.*

²¹¹ REY Augustin, Chauffage d'immeubles administratifs urbains situés dans un même rayon au moyen d'une usine centrale, In : *La Technique Sanitaire et Municipale*, Paris, sept-oct 1907, p. 260-272. Liste des bâtiments concernés dans le VII^e (centrale placée dans une cour du ministère de la Guerre) : Palais Bourbon, ministère des Affaires Etrangères, ministère de la Guerre, ministère des Travaux Publics, ministère de l'Instruction Publique et des Beaux-Arts, ministère du Commerce et de l'Industrie, ministère de l'Agriculture, ministère du Travail, Service Géographique de L'Armée.

Liste des bâtiments concernés dans le XIV^e (centrale placée à proximité de la prison de la Santé) : hôpital Ricord, hôpital Cochin, hôpital Baudeloque, caserne des Pompiers, hospices des Enfants Assistés, maison d'arrêt de la Santé, hospice de la Rochefoucauld, clinique d'Aliénés Ste-Anne, écoles du Bd. Arago.

²¹² Discussions de la séance du 9 février 1934, In : *Mémoires et comptes rendus des travaux de la Société des Ingénieurs Civils de France*, Paris, 1934, p. 105.

BEURRIENNE Auguste, « Production et distribution d'énergie calorifique à domicile à un quartier de Paris », *Mémoires et comptes rendus des travaux de la Société des Ingénieurs Civils de France*, Paris, 1911, p. 469-508.

²¹³ Idem, p. 14.

Turgot. [...] Le réseau parisien démarre assez lentement : longues négociations puis, les premières années, soit entre 1930 et 1935 la progression reste modeste avec cinq kilomètres de long. On peut considérer cette période comme une phase expérimentale. Le réseau croît au fil du temps : en 1930 – 1 000 m, en 1935 – 5 337 m, en 1940 – 13 567 m, en 1945 – 28 038 m, en 1954 – 35 500 m»²¹⁴.

Le bilan d'activité de la CPCU en 1937 présente la liste des immeubles raccordés. Elle comprend : « la Belle Jardinière, le BHV, les magasins du Louvre, quelques hôtels, la Comédie-Française, le cinéma rue de Lyon, la crèche municipale de la rue Fauconnier, la piscine Ledru-Rollin, les ateliers de la Samaritaine, la confiserie Gessler, la chemiserie Rousseau, le garage rue Traversière, l'hôtel de Ville de Paris, la Bibliothèque Nationale, le Crédit municipal, le Conseil d'État, la mairie du IV^e, le bureau du métropolitain, l'École Centrale (actuel CNAM), le groupe scolaire rue François Miron, l'école Massillon».

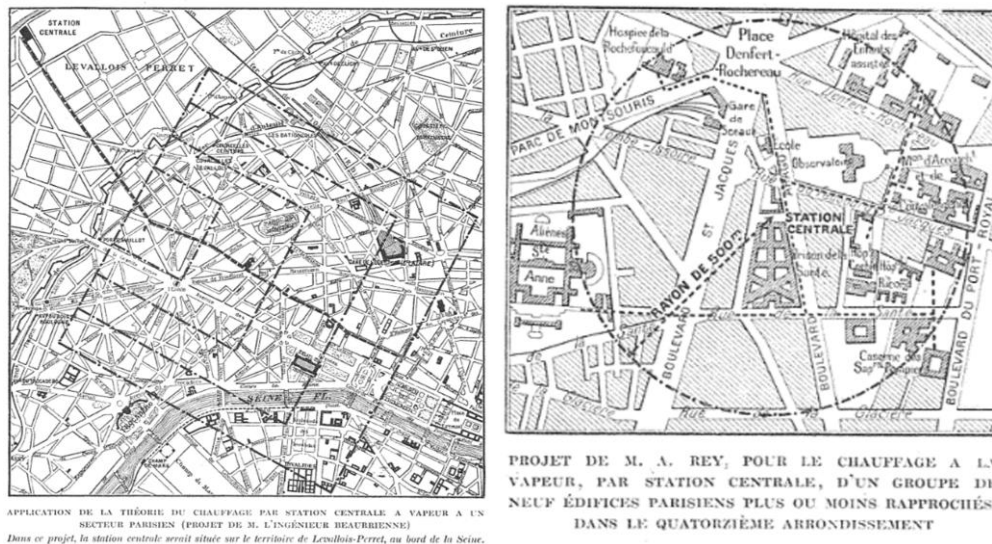


Figure 36: Figure : Zone de Paris et de Levallois-Perret concernée par des projets de réseau (BOUSQUET M., « Le chauffage des bâtiments par centrale urbaine », La Nature, 1918, p. 23-24)

De nouveaux modes chauffage se développent comme le chauffage rayonnant par le sol et le plafond, le chauffage par air chaud pulsé, le chauffage à vapeur sous vide. D'André Missenard, on peut ainsi citer un système de chauffage et de rafraîchissement par air soufflé à grande vitesse et diverses tentatives de chauffage rayonnant par le sol et le plafond, par circulation d'eau chaude²¹⁵.

²¹⁴ Emmanuelle, *Modernité technique ... Op, cit, p*

²¹⁵ MISSENARD André, Le chauffage radiant, In : *Architecture d'Aujourd'hui*, n°5, 1935, p. 36.

L'un des exemples les plus remarquables de l'entre-deux-guerres en matière de chauffage rayonnant est l'école en plein air de Suresnes édifée par Eugène Beaudouin (1898-1983) et Marcel Lods (1935-1936) en 1936²¹⁶. Les classes sont dotées de trois façades entièrement vitrées escamotables et le sol reçoit des tubes à vapeur basse pression afin de compenser les déperditions des vitrages. Ce chauffage est complété par un rideau d'air chaud en rive. Le chauffage à air chaud pulsé vient naturellement du chauffage à air chaud auquel on a adjoint un ventilateur électrique, ce système est utilisé par Henri Arquembourg (1858-1940) avant la guerre.

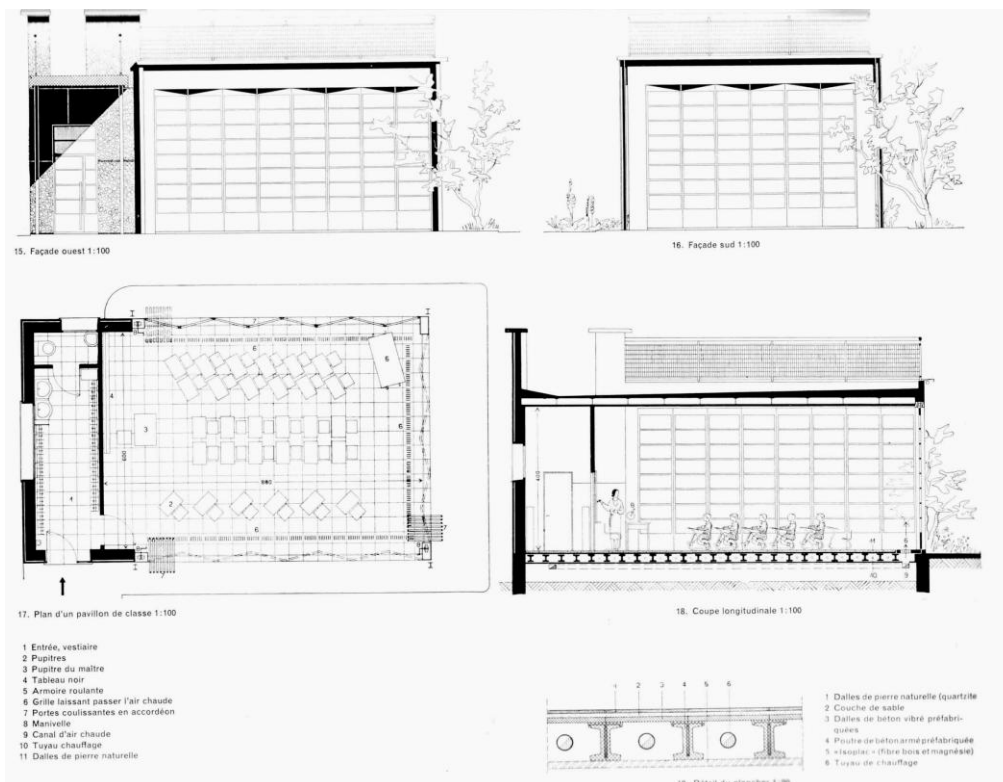


Figure 37 : l'école en plein air de Suresnes édifée par Eugène Beaudouin (1898-1983) et Marcel Lods (1935-1936) en 1936.

La maison de Verre (1927-1931) de Pierre Chareau (1883-1950) est chauffée à l'air chaud pulsé des petits pièces jusqu'à l'immense salon tout en laissant les espaces libres de tout radiateur. Les aérothermes, qui à partir d'eau chaude ou de vapeur produisent de l'air pulsé, sont vantés par Auguste Beurienne (1876-1964)²¹⁷ fort de ses visites outre-Atlantique. Il dépose un brevet d'« aérotherme » le « Calopulseur » et publie différents

²¹⁶ ROTH, Alfred. *La Nouvelle École*, Gisberger, Zurich, 1950, p 131 – 138 ; ROTH, Alfred. *La nouvelle architecture, Die Neue Architektur - The New Architecture*, Girsberger, Zurich, 1951, 5e édition, 228 p.

²¹⁷ BAURIENNE, Auguste. Utilisation de la chaleur, chauffage par aérothermes. In : *Architecture d'Aujourd'hui*, n°5, Paris, 1935, p. 41.

articles lors du Congrès du chauffage et de la ventilation de Strasbourg de 1923 comme dans *Architecture d'Aujourd'hui* en 1935. Ce mode de chauffage est conseillé pour les grands espaces comme les ateliers et locaux industriels toutefois Le Corbusier (1887-1965) va le choisir pour chauffer la Cité de refuge de l'Armée du Salut à Paris en 1933. Ce dispositif venu des USA et adapté aux immeubles de grande hauteur, est peu répandu en France, mais fait l'objet d'enseignement. Dans les années 1930, les architectes s'impliquent un peu plus dans le choix du chauffage central, y compris dans certains logements sociaux, même si « le confort minimum des habitations n'a pas été déterminé par la loi ». La presse, qui se renouvelle, relaie cet intérêt à travers des articles ou même un numéro spécial d'*Architecture d'Aujourd'hui* en 1935²¹⁸. La période des Trente glorieuses voit la diffusion à grande échelle du chauffage central à l'occasion de la production en masse de logements sociaux ou non et d'équipements. Les productions de chauffage utilisées sont très variées : chauffage urbain, de quartier ou d'îlot, chauffage central collectif et individuel. Les énergies sont bien le charbon, le fioul, le gaz (naturel ou non), l'électricité, la géothermie. Le gaz de ville produit à base de charbon est remplacé au milieu des années 60 par le gaz de Lacq. Les premiers systèmes de refroidissement par panneaux rayonnants apparaissent également pendant cette période. Le chauffage électrique n'est pas absent avec des convecteurs, des panneaux rayonnants où des tubes sont incorporés. On trouve également des appareils à infrarouge électriques.

Après ce court historique du chauffage avant la crise pétrolière en France, nous allons aborder la question suivante : comment évaluer les effets réels dans la société, de nouvelles méthodes du chauffage et les différentes politiques commerciales des énergies ?

La crise pétrolière et ses conséquences

Au début des années 1970, les produits pétroliers représentent les deux tiers de la consommation globale d'énergie en France, le fuel couvrant plus de 70 % de la consommation énergétique dans le secteur résidentiel et tertiaire²¹⁹. Au début de 1974, l'utilisateur du fuel domestique voit ses charges augmenter d'environ 80 %²²⁰. L'énergie devenant très chère, les économies deviennent une nécessité impérieuse, pour modérer le budget « combustible » du

²¹⁸ *Chauffage et ventilation*. In : *Architecture d'Aujourd'hui*, Paris, n°5, mai, 1935.

²¹⁹ Évolution (L') de la part du fuel dans le chauffage des logements, In : *Le Moniteur des travaux publics et du bâtiment*, n° 15, 18 avril 1977, p. 77 – 79.

consommateur. La première réglementation thermique voit le jour en 1974²²¹ afin de renforcer l'isolation des bâtiments et diminuer la déperdition de chaleur par les parois opaques et vitrées. On encourage aussi le développement d'énergies renouvelables et la recherche de nouvelles sources énergétiques moins polluantes pour l'environnement. En même temps, les variations de prix de l'énergie – pétrole, gaz, électricité – vont aussi jouer un rôle importante dans le développement des équipements et des systèmes de chauffage. Indépendamment des problèmes de financement, des raisons techniques s'opposent souvent à l'amélioration du chauffage des logements existants. Parmi ces raisons, nous pouvons évoquer : l'absence de conduits de fumée, ou simplement leur trop mauvais état, l'exiguïté des locaux, l'impossibilité de stocker le combustible ou d'effectuer certains travaux de percement et le nombre élevé de travaux annexes de remise en état²²². De nombreux articles techniques et présentations des nouveaux systèmes de chauffage sont produits intensivement entre 1970 et 1980. Ces articles concernent à la fois l'habitat existant et les constructions neuves. Nous citons par exemple, les articles dans *le Moniteur des Travaux Publics et du Bâtiment (MTPB)*, *les Cahiers techniques du bâtiment* et *les Cahiers de CSTB*.

Économie de consommation du chauffage :

Dans le domaine du chauffage, la maîtrise d'ouvrage participe toujours au réglage et à la maintenance des installations et joue sur le stock de combustibles pétroliers. Ces installations sont appuyées par : « le contrôle de la distribution du fuel domestique qui représente environ 90 % des fuels consommés dans le secteur résidentiel et tertiaire »²²³. Le réglage s'exerce sur l'approvisionnement des distributeurs et des consommateurs. Les équipements sont maintenues aussi par une sensibilisation des utilisateurs par l'agence pour les économies d'énergie (créée par décret du 29 novembre 1974) au moyen de campagnes d'information par voie de presse – radio, TV, etc. -, ou de conseils pratiques pour le choix d'appareils et d'entretien d'installations. Nous trouvons dans un numéro du *MTPB*, de l'année

²²⁰ Le prix du fuel domestique à Paris, tarif vrac 2 à 3 m³ est passé de 29 f/hl en juin 1973, à 53 F/hl en janvier 1974.

²²¹ Loi n° 74-908 du 29 octobre 1974 aux économies d'énergie, *Journal officiel de la République française*, 31 octobre 1974. 11083.

²²² Le chauffage central individuel au gaz en habitat existant, In : *Le Moniteur des travaux publics et du bâtiment*, 15 mai 1976, pp 119-120.

²²³ L'évolution de la part du fuel dans le chauffage des logements, *Op, cit.*

1977²²⁴, des actions réglementaires et la mise en place d'un dispositif de contrôle de cette réglementation. Ces dispositifs concernent :

« la limitation de la température de chauffage à 20 °C, l'isolation thermique des bâtiments, un contrôle systématique des installations de chauffage des immeubles collectifs, l'obligation d'avoir (dans les immeubles collectifs) un comptage individuel des calories, ce qui permet de répartir les frais de chauffage en fonction de l'énergie effectivement consommée par chacun, la limitation de la durée des contrats de chauffage et une amélioration de leur transparence. Et finalement, des études conduisant à mieux dimensionner les installations, à les améliorer (brûleurs adaptés, calorifugeage des chaudières et des installations), à mieux les exploiter, sans sacrifier le confort, mais en évitant les gaspillages²²⁵ ».

Des études du Centre d'Études Régionale sur les Économies de l'Énergie (CEREN) montrent que le taux d'équipement en chauffage central des résidences principales reste très faible (55 % en 1976) et ne progresse que lentement. Il augmente d'environ de 7 % entre 1973 et 1976 pour l'ensemble des résidences principales et un peu plus pour les immeubles collectifs (+ 8,2 %) que pour les maisons individuelles (+ 6,8 %).

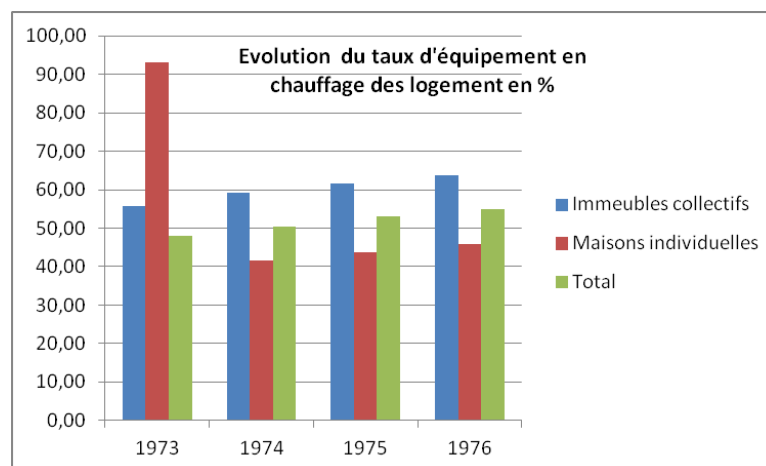


Figure 38 : évolution du taux d'équipement en chauffage central des résidences principales (étude CEREM)

Par ailleurs, lorsque l'on recherche la répartition en pourcentage des différentes formes d'énergies utilisées dans les installations existantes, on constate : une forte baisse des installations au charbon. Une baisse sensible de « l'équipement fuel » due à plusieurs causes : la crainte des consommateurs d'équiper des logements neufs d'installations réclamant une énergie sur laquelle pèsent des menaces de restriction, le développement du chauffage électrique intégré CEI dans les immeubles neufs et les facilités offertes par le gaz naturel. On

²²⁴ *Ibid*,

²²⁵ *Ibid*,

constate donc une pénétration du gaz et de l'électricité, ainsi qu'une augmentation de la part du chauffage urbain.

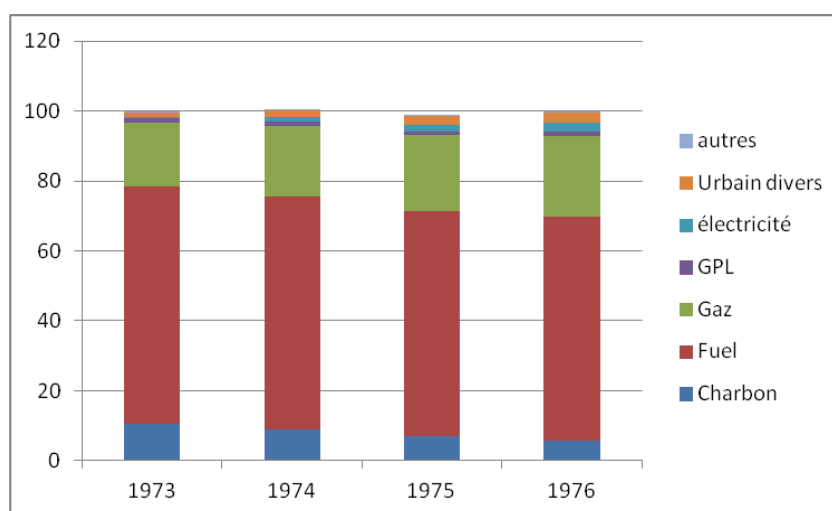


Figure 39 : répartition par énergie des installations de chauffage central des résidences principales (en pourcentage)²²⁶

L'électricité d'origine nucléaire apparaît alors comme une source indispensable. Jugée comme une énergie peu chère, produite industriellement, la France prend la décision de remplacer progressivement les autres énergies. La croissance la plus importante se produit entre 1977 et 1999 avec 64 unités de production, dont 58 en service actuellement²²⁷. Ainsi, l'EDF cherche de nouveaux débouchés pour son énergie. C'est dans ce contexte que l'électricité est proposée comme énergie thermique²²⁸. Même si le chauffage électrique existe avant la généralisation de la production d'électricité par voie nucléaire, les premiers chocs pétroliers favorise son développement rapide. D'une part, en déclenchant le choix d'un recours massif au nucléaire : cela a permis la production de masse d'un kWh électrique moins

²²⁶ *Ibid.*

²²⁷ Le passage au « tout nucléaire » pour la production d'électricité portera au total sur 58 réacteurs REP, répartis dans tout le pays, dont les mises en service s'échelonnent sur 20 ans de 1979 à 1999 (la puissance des dernières unités atteignant 1450 MW). Aujourd'hui, 75 % de l'électricité produite est d'origine nucléaire. Cet effort sans équivalent dans le monde permet à la France d'être moins exposée aux fluctuations du prix des carburants et nous assure un prix du kWh très inférieur à celui de nos voisins. Alain MALLEVRE, « L'histoire de l'énergie nucléaire en France de 1895 à nos jours » <http://arcea-dif.fr/bulletins/133/energie.pdf> ; Carle Rémy, *L'électricité Nucléaire*, p. 127.

²²⁸ <http://presentation.edf.com/profil/histoire/1963-1973-40179.html>, consulté le 13/05/2012.

cher que les modes de productions traditionnels de chaleur, et donc, économiquement compatible avec un chauffage électrique²²⁹.

Chauffage électrique :

Depuis les années 1950 et jusque les années 1980, EDF essaye d'augmenter son chiffre d'affaire en convainquant les décideurs et les consommateurs de signer des conventions qui s'engagent à proposer systématiquement, si elles sont compétitives, des solutions pompe à chaleur en remplacement de chaudières fioul dans le cadre de négociations avec leurs clients, aussi bien dans le domaine résidentiel et tertiaire que dans les domaines industriels²³⁰. L'entreprise embauche des conseillères ménagères. Elles doivent permettre de rentabiliser de lourds investissements en trouvant de nouveaux clients. Ces conseillères, toutes diplômées d'enseignement ménager, sont chargées d'aller à la rencontre des femmes pour leur enseigner les techniques les plus récentes en matière de tâches ménagères, notamment pour la préparation des repas, et de les convaincre ainsi d'abandonner leurs fourneaux pour des cuisinières modernes²³¹. En 1971, dans le cadre de la recherche de nouveaux usages de l'électricité, les équipes de la direction de la recherche et développement (R&D) d'EDF lancent une vaste campagne publicitaire en faveur du chauffage électrique. Ils inventent le concept du CEI « Chauffage Électrique Intégré²³² ». Dans le but de répondre à cette question : « Comment assurer, dans des conditions économiques acceptables pour le client, un chauffage performant avec une énergie dont le coût unitaire (par kWh facturé au client) est notablement plus élevé que celui des autres énergies ? ». L'adoption d'un système décentralisé au niveau des pièces constitue une première réponse. Dans ce cas, il n'y a pas besoin de chaudière comme pour le gaz ou le fuel ce qui diminue fortement le coût de l'investissement. L'argent ainsi économisé peut donc être utilisé pour isoler correctement le logement (murs, ouvertures, plafond et plancher) et donc baisser les coûts de fonctionnement. On arrive ainsi à un coût global très compétitif, par rapport aux autres énergies, en particulier

²²⁹ Le développement du chauffage électrique dans d'autres pays est - comme en France - en partie lié au faible coût du kWh (d'origine nucléaire, mais également hydraulique : 50 % pour le Canada, 100 % pour la Norvège).

²³⁰ Les entreprises et les organisations concernés par ces travaux sont : la Cofreth, la Compagnie générale de chauffe la SCICI et l'Union nationale des fédérations d'organisme d'HLM, l'AFME et BRGM.

²³¹ FAURE D, La conseillère ménagère à EDF, *Bulletin d'histoire de l'électricité*, La femme et l'électricité, lieu :Ed, Juin-Décembre 1992.

²³² LE GRAND Louis, 30 ans de chauffage électrique : histoire d'une innovation mouvementée, In : *Les entreprises, acteurs de la recherche et de l'innovation*, 29 et 30 août 2005.

dans le neuf où l'isolation, intégrée dès le départ au bâti, coûte moins cher que dans l'ancien²³³.

Voici comment le Chauffage Electrique Intégré fait de votre maison un refuge.

Le Chauffage Electrique Intégré implique dès la construction de la maison une intégration étroite de trois éléments :

- isolation thermique,
- aération contrôlée,
- appareils de chauffage.

La combinaison de ces trois éléments provient d'une réflexion poussée sur le confort thermique.

Pourquoi chauffe-t-on ?

Pour compenser, bien sûr, les pertes de chaleur. Pour chauffer mieux, il faut donc dresser une barrière contre toutes les attaques de l'extérieur.

C'est le rôle de l'isolation, qui se concrétise par l'emploi de matériaux isolants : fibre isolante minérale, polystyrène expansé, mousses plastiques spéciales, etc. Murs, sols, plafonds, combles, toutes les parois sont isolées. Les vitres sont remplacées par des vitrages isolants.

Il faut isoler, mais il faut aussi chauffer.

Apporter la stricte quantité de chaleur nécessaire et la régler pièce par pièce, selon ses activités.

C'est le rôle des appareils électriques associés aux thermostats.

La qualité de la chaleur a aussi une grande importance.

Que l'air qu'on respire soit le plus pur possible et toujours renouvelé.

C'est le rôle de l'aération contrôlée.



un exemple de Chauffage Electrique Intégré

Ainsi, le Chauffage Electrique Intégré protège votre maison de toutes les agressions : le froid, mais aussi la chaleur, les bruits, la poussière.

Il évite l'atmosphère desséchante en supprimant toute surchauffe ; les plantes revivent, les enfants s'enrhumant moins l'hiver.

Il vous fait vivre plus heureux ensemble, en permettant à chacun de régler la température à son gré, sans importuner les occupants des autres pièces.

Parce qu'il ne produit que les calories nécessaires, c'est un mode de chauffage économique.

Pour plus de confort, il ne vous coûtera pas plus cher que votre chauffage actuel.

Mieux que la simple chaleur, le Chauffage Electrique Intégré apporte le bien-être.

A l'abri de tous les ennuis, avec le Chauffage Electrique Intégré, on est heureux comme à la campagne.

on respire un air favorable à notre santé.

Dans une ambiance harmonieuse où chacun s'épanouit.



un thermostat par pièce



une bonne isolation

Chauffage Electrique Intégré.

Nom _____
Prénom _____
Adresse _____

NO AI

Le Chauffage Electrique Intégré recrée les conditions naturelles de la vie.

Figure 40 : 1972 - "Chauffage Électrique Intégré". Nom. I Prénom. Adresse. NO AI. Le Chauffage Électrique Intégré recrée les conditions naturelles de la vie.

Le succès est rapide, la pompe à chaleur électrique connaît une augmentation de ses ventes passe de 46 313 à 51 160 entre 1981 et 1982, puis s'effondre à environ 19 000 en 1984²³⁴. Les résultats sont immédiats, comme en témoigne la progression du nombre des mises en chantier en 1981, 1982 et 1983²³⁵. Une inversion brutale du marché se produit en 1984²³⁶ que nous pouvons expliquer. D'abord par des contre-performances dans l'individuel. Ensuite, Le gaz se fait commercialement plus combatif, le financement d'installations

²³³ <http://www.melchior.fr/Trente-ans-de-chauffage-electr.4476.0.html> consulté le 15/04/2013

²³⁴ Pompe à chaleur un nouveau souffle ? , In : *Cahiers techniques du bâtiment*, n° 71, avril 1985, pp. 7 - 8.

²³⁵ En 1981 (Perche C 1 000 logements, Perche T 990 équivalents logements) ; en 1982 (Perche C 1 780 logements, Perche T 2 710 équivalents logements) ; en 1983 (Perche C 8 250 logements, Perche T 14 280 équivalents logements), « C.I.A.T. et E.D.F. unis pour relancer les P.A.C. », *Cahiers Techniques du bâtiment*, n°71, Avril, 1985, p. 8.

²³⁶ En 1984, seulement 6 750 logements (Perche C) et 5 100 équivalents logements (Perche T).

réputées coûteuses s'avère de plus en plus difficile et finalement, l'information reste insuffisante, notamment dans le domaine des aides offertes par EDF²³⁷.

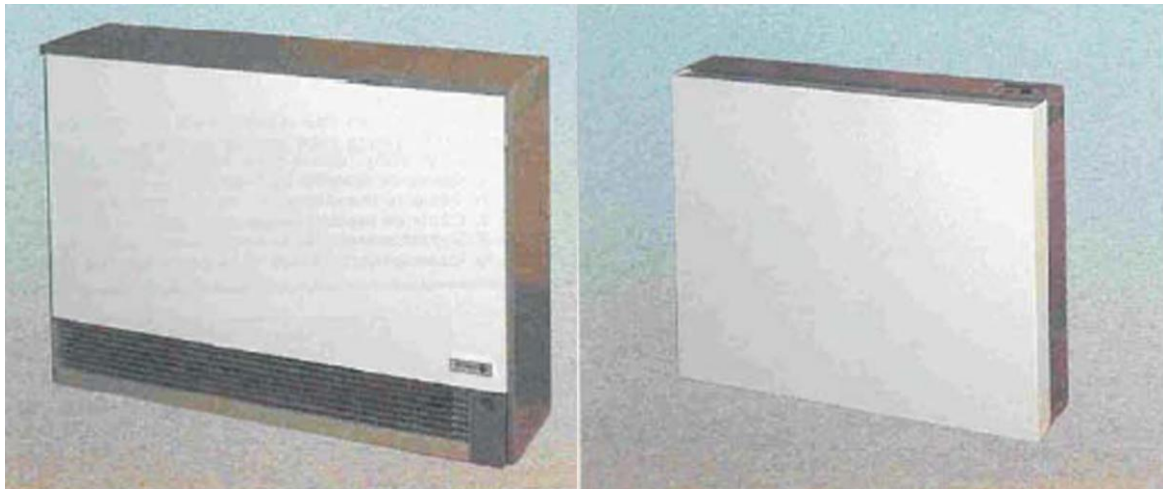


Figure 41: Exemples des chauffages électriques par accumulation. Source : Catalogue De Dietrich : chauffage eau chaude sanitaire toutes énergies 1982, p 119. À droite : système 24h (licence EDF), ces accumulateurs dynamiques 24h sont constitués d'un noyau de brique réfractaires alimentées pendant la période de charge (principalement la nuit en tarif heures creuse) cependant, les jours les plus froids, l'appareil consomme également du courant de jour, mais seulement quand il a épuisé l'énergie accumulée. À gauche, un accumulateur statiques compensés : ce modèle comprend un accumulateur statiques, se chargeant exclusivement la nuit permettant de profiter au maximum du tarif EDF heures creuses et un chauffage direct par convecteur, n'agissant qu'en appoint.

De même, en 1984, l'union nationale des fédérations d'organismes d'HLM et EDF conclue un protocole d'accord dont l'objet est de mener « une action commune de développement des techniques électriques performantes pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire dans l'habitat social existant ». L'opération vise à équiper, en une année, 12 000 logements de pompes à chaleur en remplacement de chaudières fioul et 10 000 d'autres en installation de production d'eau chaude sanitaire d'été par l'électricité, en complément. Avec cette solution, les chaudières fioul sont ainsi arrêtées pendant la belle saison, au profit d'une « énergie nationale »²³⁸. En pratique, une vaste campagne d'information et de sensibilisation est lancée auprès des investisseurs potentiels, notamment par la visite de réalisations exemplaires ; en même temps, le réseau de distribution tente de faire connaître les subventions EDF et met en place un système de financement par prêts à taux modérés.

Pourtant, les pouvoirs publics ne sont pas toujours favorables au développement du chauffage électrique. Cette opposition se traduit, entre autres, dans diverses évolutions de la

²³⁷ Les aide offertes par EDF en 1985 prennent la forme de primes de 1 200 F par logement (ou équivalent logement), somme portée à 1 900 F s'il s'agit d'habitat social, *Ibid.*

RT dont les exigences de performances pour le chauffage électrique, en particulier pour l'isolation thermique des bâtiments associés sont toujours plus fortes pour l'électricité que pour les autres énergies. Le CEI est lancée à un moment où aucune réglementation thermique n'est imposée au secteur du bâtiment. Pour que le chauffage électrique puisse correctement fonctionner, EDF doit donc développer ses propres règles de qualité incluant une exigence de performances thermique. Une sorte de « labellisation » avant l'heure. Pourtant, jusqu'en 1989, EDF reçoit les encouragements des pouvoirs publics à faire mieux que la RT comme le programme H2E 85, labels HPE.

Du fait de la faiblesse du coût d'investissement des convecteurs électriques, beaucoup de particuliers s'équipent de chauffage électrique, mais sans adapter le bâtiment à ce mode de chauffage (c'est-à-dire sans isolation thermique). Ce mouvement est particulièrement net dans le secteur du locatif privé où les coûts d'investissement et de fonctionnement ne sont pas supportés par les mêmes acteurs. Les propriétaires qui font les travaux négligent la partie élevée de l'investissement que représente l'isolation thermique et laissent les futurs locataires assumer les coûts d'exploitation élevés qui en découlent. Les premiers utilisateurs mécontents de leur facture de chauffage électrique apparaissent. Au même temps, le prix du gaz et du fuel a baissé de près de 30 % par rapport à 1985. Le différentiel de coût « fossile/électricité » redevient très favorable au fuel et au gaz.

Les exemples défavorables se multiplient et l'image du chauffage électrique devient mauvaise en termes de performance (énergétique et économique) et de confort. Dès 1987, les parts de marché du chauffage électrique dans la construction neuve s'effondrent. La chute est rapide. Les anciens locataires qui accèdent à la propriété et qui ont connu le chauffage électrique précédemment n'en veulent surtout pas. La réglementation thermique n'est plus suffisamment exigeante pour le chauffage électrique pour compenser la différence de coût entre l'électricité et le gaz. Avec un prix des énergies fossiles aussi bas, il faut un niveau plus élevé d'exigence pour respecter l'équation économique du chauffage électrique. Dans le patrimoine existant, l'installation de chauffages électriques de mauvaise qualité continue sa progression et EDF n'a pas de label permettant de l'encadrer.

²³⁸ Poussée de l'électricité dans les HLM In : *Cahiers Techniques du bâtiment*, n° 71, Avril, 1985, p. 8.

En 1988, nous comptons plus de 122 millions de mètres carrés chauffés dans le secteur tertiaire²³⁹. Ce secteur présente un gisement énorme d'économies d'énergie, en concevant mieux et en investissant mieux sur les plans thermique et énergétique dans les bureaux, les établissements de soins, d'enseignement et dans l'hôtellerie. Cette action est élargie dès 1991 aux commerces, bâtiments agricoles, locaux sportifs et bâtiments industriels. Une opération pour préparer une série de guide sectoriel sur la maîtrise de l'énergie et des coûts dans le tertiaire neuf est commencée²⁴⁰. Ces guides sont destinés aux concepteurs, installateurs et gestionnaires. La valorisation et la diffusion du savoir-faire s'effectuent par la concertation avec les spécialistes et la rédaction par les professionnels. A partir de 1995, l'EDF décide, non seulement de ne pas abandonner le marché du chauffage électrique, mais de reconquérir la première place dans les énergies de chauffage du logement neuf et de limiter les conversions de CE en chauffage gaz dans l'existant. Le début de cette réaction vise le marché de la rénovation sur lequel EDF entreprend l'accompagnement de programmes de rénovation de chauffage à l'aide du label « rénovation ». Mais, la reprise en main du marché décidée par l'entreprise ne devient visible qu'en 1996 avec l'arrivée de l'offre EDF « Vivrélec²⁴¹ » destinée au logement neuf. En 1998, l'offre « Rénovation », adaptée à la rénovation des chauffages électriques vient la compléter. L'offre Vivrélec est voulue comme une offre globale essentiellement technique : isolation des bâtiments, VMC, émetteurs de chaleur, régulation et conseil.

²³⁹ « Des guides pour mieux maîtriser l'énergie ». In : *Les Cahiers Technique du Bâtiment*, n° 128 juillet – août 1991, p 39 - 40.

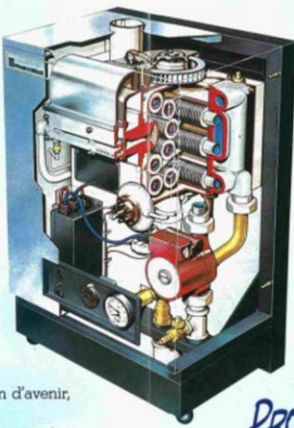
²⁴⁰ L'AFME confie à l'AICVF (Association des ingénieurs en climatisation, ventilation et froid) la maîtrise d'œuvre du projet, soit les quatre premiers guides et un guide méthodologique de calcul prévisionnel des consommations énergétiques. Par exemple, Guide sectoriel. AICVF-ADEME, « Bâtiments à hautes performances énergétiques – Hôtels–Restaurants », Pyc Édition, 1992 ; Guide sectoriel. AICVF-ADEME, « Bâtiments à hautes performances énergétiques – Bureaux », Pyc Édition, 1993 ; Guide sectoriel. AICVF-ADEME, « Bâtiments à hautes performances énergétiques – Enseignement », Pyc Édition, 1993 ; Guide sectoriel. AICVF-ADEME, « Bâtiments à hautes performances énergétiques – Santé », Pyc Édition, 1993.

²⁴¹ Le niveau de performance de l'isolation thermique du bâti permettant de bénéficier des offres Vivrélec et des labels associés devient de nouveau supérieur aux exigences de la RT en vigueur à l'époque (et qui date de 1989). Vivrélec se décline en 3 niveaux de performance du bâti : avec des pertes thermiques inférieures aux exigences de la RT de - 10 %, - 15% et - 20 %. La meilleure isolation thermique des bâtiments chauffés à l'électricité permet de diminuer les consommations et d'équilibrer le différentiel de coût unitaire entre l'électricité et le gaz.

Le chauffage au gaz :

IL Y A DE L'ÉCONOMIE DANS L'AIR!

- Les économies d'énergie, tout le monde en parle... avec les nouvelles chaudières gaz à condensation G.T.L., vous en faites ! Vous en faites même de 15 à 30% et plus !...
- Et 30% d'économie sur la note de chauffage, ça chiffre ! Vous le savez mieux que personne.
- Avec les chaudières G.T.L. à condensation, suivant les caractéristiques de l'installation, les rendements sont proches de 100% (plus de 95% sur P.C.S., pour être précis).
- Autrement dit, chaque calorie produite est une calorie utile. Avec la condensation, vos dépenses de chauffage ne partent plus en fumée.
- En optant pour une chaudière G.T.L. à condensation vous choisissez une solution d'avenir, ...qui a fait ses preuves.
- En effet, plus de 40.000 foyers en France ont déjà en service une chaudière à condensation.



Leader incontesté de la condensation en France, FRANCO-BELGE vous propose 5 modèles de chaudières gaz à condensation.

Quelle que soit leur mission : chauffage ou mixte (chauffage et production d'eau chaude) les chaudières à condensation G.T.L. vous assurent un confort d'utilisation absolu... et des économies substantielles !

Pour tout savoir sur les chaudières G.T.L. à condensation : leur fonctionnement, leurs performances, leur installation et leurs multiples avantages, allez voir votre installateur agréé FRANCO-BELGE.

Durant 3 jours, les 15, 16 et 17 Mars, c'est l'occasion ou jamais de faire avec lui un "check-up" chauffage.

PROFITEZ-EN, VOUS AVEZ TOUT A Y GAGNER!!

Figure 42 : Chaudières à condensation Franco Belge (Merville), Société ENKEL-CHAUFFAGE 1985.

Gaz de France commence, dès 1950, à développer ses activités vers le gaz naturel à partir du gisement de Lacq. L'utilisation de cette énergie se développe pendant les Trente Glorieux tant chez les particuliers que dans les entreprises. La distribution du gaz par réseau connaît une nouvelle jeunesse avec l'arrivée massive du gaz naturel²⁴². Entre 1959²⁴³ et 1988, les stockages souterrains de gaz naturel remplacent progressivement les 340 « usines à gaz »²⁴⁴. Dans la même période, le réseau de transport passe de 5 000 à 23 000 km et la consommation est multipliée par 20²⁴⁵. Dans *les Cahiers Techniques du Bâtiment* on explique la raison de ce développement de la recherche appliquée, tant sur le gaz lui-même que sur les matériels qu'il utilise.

« La recherche intensive se justifie par l'avenir même du gaz naturel : à ses qualités de souplesse, de puissance et de protection de l'environnement, s'ajoute le fait que les réserves sont considérables, au moins autant que celles de pétrole brut. La consommation étant moindre, ces ressources dureront deux fois plus longtemps tandis que leur diversification est l'assurance d'un approvisionnement régulier »²⁴⁶.

²⁴² *Maitrise de l'énergie dans la ville, conception actuelle des réseaux de distribution de gaz en Île-de-France*, lieu, conférence du 28 mai 1986.

²⁴³ En 1959, le gaz naturel de Lacq arrive en Île-de-France.

²⁴⁴ Le gaz naturel : une progression dans tous les secteurs d'activité, In : *les Cahiers Techniques du Bâtiment*, n° 102 octobre 1988, p. 65.

²⁴⁵ *Ibid*

²⁴⁶ *Ibid*

Dans les années 1970, une étude, présentée lors de la conférence-débat organisée par le Centre d'information EDF-GDF du bâtiment Cégibat, met en question les avantages du chauffage électrique. Elle propose en alternative un mode de chauffage central individuel au gaz facile à installer.

« Les installateurs sont capables d'équiper, en 24 heures, un logement déjà alimenté en gaz et en électricité au moyen d'un générateur à gaz, au besoin à ventouse, et d'un circuit de chauffage à eau chaude, système monotube dérivation, totalement préparé en atelier et monté sans soudures ». Plus de mille logements sont déjà équipés de ce mode de chauffage en 1975²⁴⁷.

À la fin des années 1980, GDF commence à organiser des journées d'information à l'intention des élus des villes desservies par le gaz naturel, ainsi que des représentants des départements et des régions, afin de renforcer ses relations avec les collectivités territoriales²⁴⁸. La justification de ces journées est démontrée à l'occasion de l'édition de la campagne de promotion « en direct avec les collectivités territoriales » et par l'augmentation de près de 10 % de la consommation en gaz naturel des collectivités territoriales²⁴⁹. Un exemple des bâtiments chauffés au gaz naturel est l'Arène de Nîmes, ce gigantesque monument est couvert d'octobre à avril par une structure gonflable en PVC²⁵⁰. D'autres solutions, utilisant le gaz comme source d'énergie, sont également proposés dans les années 1980 et 1990 : comme le chauffage par air (aéraulique et chaudière à condensation optimisent la performance énergétique), le rayonnement à basse température par plancher chauffant avec chaudière à condensation²⁵¹.

Chauffage solaire :

L'énergie solaire est l'une des énergies alternatives qui s'est développée suite aux crises pétrolières. Or, si en 1974, l'eau chaude solaire thermique fonctionne déjà bien, le chauffage solaire doit progresser. Nous avons abordé le mur « Trombe », qui utilise l'effet de

²⁴⁷ Le chauffage central individuel au gaz en habitat existant, In : *Le Moniteur*, 15 mai 1976, pp. 119-120.

²⁴⁸ En direct avec les collectivités territoriales, In : *les Cahiers Techniques du Bâtiment*, n° 116, avril 1990, p. 103.

²⁴⁹ La consommation énergétique des bâtiments communaux représente de 4 à 10 % du fonctionnement d'une collectivité locale.

²⁵⁰ Intervenants : Finn Geipel (1958, architecte), Nicoles michelin (1955, architecte), Werner Sobock (1953, ingénieur), maître d'œuvre : la ville de Nîmes, bureau d'études techniques (structure) : Schlaich Bergermann und Partner, entreprise générale : Baudin-Châteaueuf, fournisseur membrane : Verseidag Industrietextilien

²⁵¹ Nous trouvons tous les nouveaux produits sous le titre « INFOGAZ » publiée dans *les Cahier Techniques du Bâtiment*. Pour nos exemples, nous citons les articles dans les numéros : 136, juin – juillet 1992, 323, mai 1992...

serre pour accumuler la chaleur dans les murs orientés au sud. Cette solution convient évidemment aux bâtiments dont on peut contrôler l'orientation et amorce le solaire dit « passif »²⁵². Le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire constituent les premières applications immédiatement accessibles. Dans la deuxième moitié des années 1970, la solution la plus adaptée pour utiliser le rayonnement solaire demeure la production de chaleur et d'eau chaude sanitaire eau chaude tout au long de l'année facilitant le remboursement de ces équipements. D'où « l'explosion » prévisible du marché. La production des capteurs plans est passée de 4 000 mètres carrés en 1975, à près de 40 000 en 1977²⁵³. La plupart des industriels exerçant leur activité dans le domaine du chauffage mettent en place, pour 1978, une production de matériel héliothermique et entreprennent un effort de promotion et de diffusion de cette nouvelle technologie. Diverses opérations sont subventionnées par la délégation ou le ministère de l'Équipement : concours « chauffe-eau ministère de l'équipement/Union des HLM », pour 3 000 chauffe-eau ainsi qu'une opération de financement par la délégation de 2 764 chauffe-eau dans l'habitat HLM.

Dans les années 1970, les réalisations ne sont pas toujours précédées d'études techniques suffisamment précises. Cela conduit à mettre en cause la crédibilité du système en vigueur à cette époque là. André Missenard, lui-même, tente des expériences avec des maisons témoins à Saint-Quentin. Il pense alors comme beaucoup que : « malgré les incitations financières de l'Etat, le chauffage solaire n'était pas rentable financièrement par rapport aux investissements nécessaires et au coût des autres énergies, dont entre-temps les cours ont baissés. Missenard constate également avec regret le mépris des vendeurs d'énergies pour ces solutions alors peu rentables mais non polluantes »²⁵⁴. En France, à la suite de l'expérience à grande échelle d'Odeillo, une véritable centrale électrique solaire est édifiée en 1983 en Cerdagne : Thémis. Parrainée par EDF, l'exploitation est arrêtée en 1986, jugée non rentable... Menacée de destruction en 2004, elle est réactivée depuis 2007 et devrait produire à terme 800 MWh. Depuis, ces centrales solaires thermiques sont concurrencées par les centrales photovoltaïques.

Le développement rapide, dans les années 1970, de l'utilisation de l'énergie solaire pour le chauffage de l'eau chaude sanitaire et pour le chauffage d'ambiance entraîne l'apparition sur le marché de nombreux capteurs solaires parfois très différents dans leurs principes et leur

²⁵² *Cahiers techniques du bâtiment*, n°47, septembre 1982, pp. 35-37.

²⁵³ *Ibid.*

²⁵⁴ Cité d'un article non publiée d'Emmanuelle Gallo, « Costic - histoire du chauffage »

technologie²⁵⁵. Pour clarifier la situation et permettre aux utilisateurs de disposer des informations techniques ou autres nécessaires au choix des procédés et à leur mise en œuvre, deux types d'actions sont engagés : l'un concerne la typologie²⁵⁶, l'autre est normatif. Pour la normalisation des méthodes d'essais des capteurs solaires, des opérations expérimentales sont réalisées afin de préciser et de concrétiser par un texte les connaissances à un moment donné ; de permettre toutes modifications visant à l'amélioration de la méthode retenue ; afin de rendre possible la mise en place ultérieure d'un label du type « marque NF ».

La géothermie :

Les ressources géothermiques sont classiquement identifiées selon leur niveau de température, c'est-à-dire aussi selon l'usage qui peut en être fait : utilisation directe des calories ou production d'électricité²⁵⁷. On s'intéresse ici aux ressources à basse température, dont seul un usage thermique peut être envisagé. En effet, la recherche pétrolière menée dans le sous-sol français depuis 1950, au moyen de nombreuses campagnes géophysiques et de plus de 5 000 forages, a permis de connaître les bassins sédimentaires en profondeur, les fossés d'effondrement et les avant-pays des grandes chaînes de montagne. Ainsi, grâce à ces renseignements, provenant pour l'essentiel de la recherche pétrolière, une évaluation du potentiel géothermique des grands gisements français est réalisée à partir de 1974. Par la suite, des inventaires du potentiel géothermique sont réalisés selon des limites administratives pour un certain nombre de régions et de départements²⁵⁸.

La contribution de la géothermie au bilan énergétique :

Différentes évaluations du potentiel géothermique sont effectuées dans les années 1970 et 1980 ; comme l'évaluation de J. Lavigne²⁵⁹ en 1978, l'évaluation par la méthode

²⁵⁵ BOYAUX Pierre, Vers une normalisation des capteurs solaires, In : *Le Moniteur des travaux publics et du bâtiment*, n°12, Paris : Groupe Moniteur, 28 mars 1977, p 103 - 104.

²⁵⁶ Au titre de cette première action, la typologie : certains organismes techniques et notamment le Centre Scientifique et Technique du bâtiment établi et tient un fichier des fabricants français et des principaux fabricants étrangers. Pour chacun d'eux, ce répertoire contient : des renseignements techniques concernant le produit et sa mise en œuvre, des renseignements complémentaires (situation géographique, assistance de la société, garanties accordées, assistance technique et service après-vente, etc.)

²⁵⁷ JAUDIN Florence, LEMALE Jean, *La Géothermie, une énergie d'avenir / Une réalité en Ile de France*, Paris : Agence régionale de l'environnement et des nouvelles énergies Ile-de-France, 1998, 118p.

²⁵⁸ La géothermie basse énergie, évaluation de sa contribution au bilan énergétique français, Bureau de Recherche Géologiques et Minières, septembre 1982.

²⁵⁹ Une évaluation intéressante des ressources géothermiques a été réalisée en 1977 par J. Lavigne (Annales des Mines, avril 1978).

IEJE²⁶⁰ en 1982 et enfin l'évaluation du Bureau de Recherche Géologiques et Minières en 1982. Ces études sont réalisées afin d'évaluer la contribution de la géothermie dans le bilan énergétique français. L'étude du Bureau de Recherches Géologiques et Minières en 1982 montre que « l'essentiel du potentiel géothermique est situé dans les deux grands bassins sédimentaires français : le Bassin Parisien et le Bassin Aquitain. Dans chacun de ces bassins, plusieurs réservoirs peuvent constituer des cibles géothermiques dans des gammes de températures qui vont parfois jusqu'à plus de 100 °C »²⁶¹. Dans cette étude nous trouvons aussi la perspective d'envisager l'utilisation de la géothermie dans le domaine du chauffage et la production d'eau chaude, nous citons : « Mise à part la brève expérience de Carrière-sur-Seine au début des années soixante, la première opération française est celle de Melun l'Almont qui permet, depuis 1970, de chauffer (en base) et de fournir l'eau chaude sanitaire (ECS) aux 3 000 logements qui sont raccordés au doublet. A la fin 1982, 22 installations seront en service et permettront d'économiser de l'ordre de 50 000 tep²⁶² par an. Quinze installations seront entrées en service au cours de l'année 1982. Deux installations desservent exclusivement des serres : Melleray près d'Orléans et Lamazère ; l'économie attendue est de l'ordre de 7 500 tep »²⁶³.

En France, dans les années 1980, l'énergie géothermie est utilisée essentiellement pour fourniture de chaleur (chauffage et eau chaude sanitaire) dans le secteur résidentiel, à l'exception notoire de Coulommiers et Meaux II où ce sont des hôpitaux qui sont desservis ; et de Bruyères-le-Châtel où l'eau douce fournit ses calories pour le chauffage de locaux industriels et est ensuite utilisée en tant que telle²⁶⁴. En 1983, 16 opérations entrent en service, ce qui augmente d'environ 38 000 tep l'économie d'énergie par géothermie et porte le total à 39 installations soit une économie annuelle de 85 000 tep²⁶⁵. La distribution de la chaleur passe par un réseau. Différentes solutions sont possibles : un réseau neuf est créé, alimenté en base par géothermie (c'est le cas de Beauvais et d'Évry) ; un réseau géothermal dessert des chaufferies collectives existantes (c'est le cas de Coulommiers ou de Meaux) ; un réseau géothermal est créé parallèlement à un réseau haute température existant (c'est le cas étudié à Orléans la Source) ; un réseau est créé, alimenté en base par géothermie avec appoint fourni

²⁶⁰ BONAITI Jean-Pierre, BOURGEOIS Bernard, GIROD Jacques, *Évaluation du potentiel de développement des réseaux de chaleur en France, par ville et par ZEAT, à l'horizon 2000*, Grenoble : Ed, février 1982, 68p.

²⁶¹ *Ibid*

²⁶² tep : tonne équivalent pétrole

²⁶³ *Ibid*

²⁶⁴ *Ibid*

par un réseau classique voisin (c'est le cas de projets parisiens, associant la CPCU, et de Cergy Pontoise)²⁶⁶.

L'application la plus évidente de la géothermie concerne la fourniture de chaleur dans le secteur résidentiel, principalement celui des immeubles collectifs. Viennent ensuite : la fourniture de chaleur au secteur résidentiel, le chauffage des serres et l'utilisation de la chaleur géothermale dans des procès industriels basse température. Grâce à l'analyse de trente deux dossiers d'opérations en cours de réalisation, en 1982, le Bureau de Recherches Géologiques et Minières met en disposition une statistique des types de construction concernée par le chauffage géothermique. Il montre que : 60 % des utilisateurs raccordés sont des logements existants, 10 % des utilisateurs raccordés sont des logements neufs et 30 % des utilisateurs raccordés sont du secteur tertiaire (ou agricole et industriel)²⁶⁷. Le tableau suivant donne quelques chiffres sur l'évolution des consommations énergétiques dans les différents secteurs, et les prévisions du VIII^e plan, ainsi que celles élaborées pour le plan intérimaire, paru en début 1982, qui font suite à divers travaux²⁶⁸.

Les pompes à chaleur (PAC)

La part du chauffage et de l'ECS en résidentiel et tertiaire représente en 1980 près de 27 % des besoins finaux, soit 43.5 Mtep. Ce secteur connaît, de nos jours un développement important, en France, un des plus importants marchés d'Europe, environ 7 800 pompes à chaleur ont été installées en 2011²⁶⁹. Dès 2002, dans le domaine du tertiaire et du résidentiel collectif, le marché des opérations de PAC sur aquifères²⁷⁰ superficiel (< 200 m) est en

²⁶⁵ *Ibid*

²⁶⁶ Chaque installation dessert de nombreux utilisateurs : la moyenne de l'économie annuelle par installation s'établit vers 2 400 tep (entre 1 000 et 5 000) et on peut admettre qu'une tep économisée correspond à l'équivalent d'un logement raccordé

²⁶⁷ *Ibid*

²⁶⁸ Rapports Hugon et Quilès débat parlementaire sur l'énergie en octobre 1981

²⁶⁹ Principes de fonctionnement et usages de la géothermie (1/3) source : ADEME / BRGM, [Fiche d'information http://www.enr.fr/docs/2010104945_SERGothermie20100607LD.pdf](http://www.enr.fr/docs/2010104945_SERGothermie20100607LD.pdf)

²⁷⁰ Un aquifère est un corps (couche, massif) de roche perméables comportant une zone saturée suffisamment conductrice d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantité d'eau appréciable. Un aquifère peut comporter une zone non saturée (définition de Margat et Castany). L'aquifère est homogène quand il a une perméabilité d'interstices (sables, graviers) ; la vitesse de percolation y est lente. Il est hétérogène avec une perméabilité de fissures (granite, calcaire karstique) ; la vitesse de percolation est plus rapide.

augmentation constante ; celui des opérations sur champs de sondes est en émergence avec plusieurs dizaines d'opérations par an²⁷¹.

L'utilisation de la géothermie :

Le premier exemple de l'utilisation de la géothermie dans la construction en France est la maison de Radio France de l'architecte Henry Bernard (1912 – 1994). Construit en 1963, la maison de la radio est le premier bâtiment à bénéficier d'un système de chauffage par géothermie. Avec ce système, l'eau géothermale de l'Albien est puisée à 600 m de profondeur à une température de 27 °C. Elle cède 20 °C au dispositif énergétique avant d'être rejetée à 7 °C. En hiver, cette énergie géothermique est utilisée en appoint d'un chauffage original : un système complexe de pompes à chaleur récupère la chaleur dégagée par les activités des studios (projecteurs, matériels, public). En été, le système est inversé pour le rafraîchissement et la climatisation. Cependant, en raison de ces besoins majoritaires en froid, cette opération est remplacée depuis par une opération sur aquifères superficiels²⁷².

Avant la réhabilitation : le système géothermique consiste en : 4 groupes centrifuges fonctionnant en pompe à chaleur, assurant le chauffage et le rafraîchissement des locaux (plafonds «TUNZINI» pour les espaces bureaux et avant réhabilitation : centrales de traitement d'air pour les studios, cabines etc.,...), puissance de 1 400 kW froid par groupe, pour 330 kW absorbés, forage dans l'Albien, à 520 m de profondeur pour une température d'eau constante à 27 °C avec un débit initial de 180 m³/h déclinant à 80m³/h au bout de 50 ans. L'eau géothermale est rejetée à l'égout. L'évacuation des calories en été se fait par des tours aéroréfrigérantes placées au 22^e étage, essentiellement par la consommation interne en mi-saison et par leur utilisation dans les batteries des centrales de traitement d'air et les plafonds rayonnants en hiver, l'Albien assure le complément des besoins en chaleur. Le complément pour le chauffage est assuré par deux chaudières électriques de 204 kW.

Après la réhabilitation : les besoins calorifiques et frigorifiques sont couverts par une production centralisée, fonctionnant grâce à de nouvelles pompes à chaleur ; les besoins prévisionnels : en chaleur estimés à : 5 450 kW, en froid estimés à : 4 802 kW pour une surface utile traitée de 80 000 m². Les régimes de fonctionnement adoptés : pour l'eau glacée : 5°C - 15°C constants, pour l'eau chaude : 45° - 35°C (hiver) et 43°C – 34°C (été). Les

²⁷¹ *ibid*,

résultats de la réhabilitation ont permis la création d'une nouvelle géothermie à basse température, la création de plafonds « réversibles » diffusants et absorbants et utilisant une solution d'éclairage permettant la modularité des espaces. L'ensemble de ces solutions, associées à la mise en place d'une GTB. Un confort amélioré pour les usagers utilisant les bureaux ou les espaces techniques, grâce notamment à une régulation plus fine²⁷³.

Le chauffage urbain de Cergy Pontoise est créé en 1971, soit dès le début de la construction de la ville nouvelle. Il suit l'évolution de celle-ci pour devenir aujourd'hui Cyel, compagnie de chauffage urbain de la Communauté d'Agglomération de Cergy-Pontoise. De 1983 à 1991, le réseau du quartier du Puiseux Saint-Christophe recourt à l'énergie géothermale. Le manque de rentabilité de la géothermie (température basse, débit insuffisant) et d'importants travaux de réfection ont conduit la communauté d'agglomération à fermer les puits, cette fermeture n'étant pas irréversible. Depuis 1996, une partie de l'énergie délivrée sur le réseau de chauffage urbain provient de l'usine d'incinération d'ordures ménagères Auror'Environnement sur la commune de St.-Ouen-l'Aumône. Aujourd'hui, la chaleur est produite par l'usine de traitement des ordures ménagères Auror'Environnement (à 45 %) et par la chaufferie centrale de St-Ouen-l'Aumône (bois, charbon et fuel). Le réseau de chauffage urbain Cyel alimente aujourd'hui plus de 25 000 logements et 600 000 m² d'équipements tertiaires, dont des bâtiments publics et des immeubles de bureaux. Le nombre de postes de livraison (appelées aussi sous-stations) est de 300 et la longueur du réseau primaire est de 44 km. Les perspectives de développement de Cyel à horizon 2013 consistent dans le raccordement de près de 10 000 nouveaux logements, rendant ainsi l'éco-chaleur du réseau accessible au plus grand nombre²⁷⁴.

Un réseau de chaleur alimenté par la géothermie en bassin parisien : l'exemple de Chevilly-Larue et l'Haÿ-les-Roses (Val-de-Marne).

Le réseau de chaleur de Chevilly-Larue et l'Haÿ-les-Roses, est géré par une société d'économie mixte dénommée *Semhac*. Construit en 1984, à la suite d'une étude ayant conclu à la possibilité d'exploiter la géothermie sur le site des communes voisines de Chevilly-Larue (16 300 habitants) et de l'Haÿ-les-Roses (38 000 habitants), le réseau dessert aujourd'hui 22 000 équivalents logements (soit environ 80 % de la population de Chevilly-Larue), la

²⁷² Principes de fonctionnement et usages de la géothermie (2/3) source : ADEME / BRGM

²⁷³ Alexandre Teixeira – Maison de Radio France Olivier Grière – G2H Conseils

géothermie fournissant 60 % de la chaleur. La mise en place récente d'installations de cogénération a permis de réduire les charges d'exploitation et donc les tarifs de vente de la chaleur. L'énergie substituée s'élève à 10 000 tep par an, soit près de 30 000 tonnes d'équivalent CO₂.

Le chauffage urbain à Paris après 1974 :



Figure 43 : CPCU, Limite de prestation.

La CPCU est concernée au premier chef par la crise pétrolière de 1974. Elle est prise à contre pied par la hausse du fuel, juste au moment où elle se trouve privée de son fournisseur « de base » qu'était la centrale à charbon EDF d'Ivry. La CPCU s'adapte, après une saison de chauffe 1974 médiocre (2 031 DJU), alors que la moyenne des quinze dernières années était de 2 267, elle se satisfait d'une saison 1975 normale avec 2 250 DJU²⁷⁵. Plusieurs raisons conduisent à ce ralentissement dans la production de la CPCU, nous trouvons l'explication chez Michel Raoult dans son livre *Histoire du chauffage urbain*. Il montre les problèmes financiers de l'entreprise « Plombée par les lourds investissements qu'elle vient d'assumer, la CPCU voit ses perspectives financières obscurcies par le blocage (décidé par le gouvernement de l'époque) des prix de la vapeur vendue (sauf stricte répercussion des hausses de prix des

²⁷⁴ www.cyel.fr, Consulté le 25/10/2012. http://www.cyel.fr/reseau/identite_historique.html

²⁷⁵ RAOULT Michel, *Histoire du chauffage urbain*, Paris : l'Harmattan, 2008, p.

combustibles), qui n'est pas compensée pas le blocage du prix de la vapeur acheté à TIRU. Entre décembre 1974 et décembre 1975, les variations de salaires, fonction des mesures salariales prises à EDF - GDF, s'étagent entre + 13,62 % (hausse intervenue sur le salaire de base) et + 12,6 % (hausse en niveau de rémunération des salaires les plus élevés, lit-on dans le compte rendu de la séance du conseil d'administration en date du 1^{er} janvier 1976). D'où, bien sûr, des difficultés pour la Compagnie ! Et, en pleine crise économique, ni EDF, ni la Ville de Paris n'envisage une nouvelle augmentation du capital²⁷⁶».

En 1975, les deux tiers de la vapeur produite le sont à partir du fuel (25 chaudières au fuel, une seule au charbon), ce qui ne permet pas d'affronter sereinement les chocs pétroliers. « Entre 1981 et 1985, la part du fuel dans la production de vapeur de la CPCU est tombée de 63 à 18 %²⁷⁷ ». En 1985, après une étude approfondie des choix possibles pour remplacer le fuel afin de produire la vapeur à Saint-Ouen, le choix se porte sur le charbon. La hauteur de la cheminée est 110 m hors sol, deux chaudières de 300 t/h (tonnes/heures, 112 MW), le choix du constructeur est FCB et le financement de l'installation est en crédit bail²⁷⁸. Au cours de la décennie 1980, la clientèle de la CPCU continue à s'accroître : la puissance raccordée passe de 3 600 MW au 1^{er} janvier 1980 à 4 400 dix ans plus tard : + 800 MW, soit plus de 600 t/h de besoin de vapeur. Le raisonnement, en 1982, est le suivant : les 450 t/h de Saint-Ouen I et de la chaudière au fuel mise en service en 1990 à Bercy ne suffisent plus. Les livraisons de Vitry vont s'interrompre, Saint-Ouen II ne sera opérationnel que vers 1989. D'où la décision de « saturer » successivement la chaufferie de Vaugirard, en y installant, en 1987, une quatrième chaudière au fuel (d'occasion : issue de la raffinerie de Lavera) de 100 t/h, puis la chaufferie de la Villette, l'année suivante, avec une seconde chaudière identique. De telle sorte qu'en 1990, il n'existe plus dans les chaufferies CPCU qu'une place à Ivry, pour une chaudière de 150 t/h, tandis que la capacité de production totale du parc est légèrement excédentaire. En 1990 est l'année de la mise en service de la nouvelle usine TIRU de Saint-Ouen, capable de 195 t/h de vapeur au lieu de 75 t/h pour l'ancienne. En janvier 1988, les coûts proportionnels de production, hors charges fixes, sont, pour une tonne de vapeur, de 53 francs pour la vapeur EDF, de 51 francs pour le charbon de la Villette, de 40,5 francs pour le charbon de Saint-Ouen, de 55 francs pour le gaz et le fuel et de 54 francs pour l'électricité d'été. L'écart entre charbon et fuel permet l'amortissement de la différence des coûts d'investissement : il justifie

²⁷⁶ RAOULT Michel, ... Op, cit.

²⁷⁷ *Ibid*, p. 171.

²⁷⁸ *Ibid*, p. 176.

le choix du charbon à Saint-Ouen²⁷⁹ et même le « suréquipement » du parc de production de la CPCU (optimisation économique, analogue à celle qui justifie le « suréquipement » du parc de production d'EDF). Le 15 janvier 1987, le record de débit de vapeur livré au réseau est porté à 3 220 t/h. il ne sera par la suite battu que le 7 février 1991, entre 9 et 10 h, par – 11,5°C, avec 3 335 t/h. Dans la décennie 1980-1990, c'est la moitié de l'énergie livrée au réseau de la CPCU qui provient de l'incinération des déchets ménagers et c'est quelque 30 000 tonnes de fuel par an qui ne seront de ce fait pas consommées, ni importées. Rémi Guillet de la direction de la protection de l'environnement de la Ville de Paris s'en félicitera dans les publications sur le traitement et la valorisation énergétique des déchets ménagers²⁸⁰.

Un réseau de chaleur alimenté par les déchets ménagers : l'exemple de Paris

La CPCU) est concessionnaire de la Ville de Paris depuis 1927, pour la production et la distribution de chaleur sous forme de vapeur ou d'eau chaude. Actuellement, les actionnaires principaux sont le groupe Elyo (pour deux tiers) et la Ville de Paris (un tiers). Les déchets ménagers non recyclés sont acheminés vers les trois usines d'incinération du Syndicat intercommunal de traitement des ordures ménagères (SYCTOM), exploitées par la société *Traitement industriel des résidus urbains* (TIRU) et situées à la périphérie de Paris : Saint-Ouen, Ivry-sur-Seine et Issy-les-Moulineaux. Le site de Saint-Ouen comprend trois fours pour une production totale de vapeur de 220 t/h, celui d'Ivry dispose de quatre fours et produit 200 t/h de vapeur et l'installation d'Issy-les-Moulineaux, qui comprend deux fours, possède une capacité de production de vapeur de 160 t/h. La vapeur produite est distribuée sur un réseau maillé et interconnecté de 431 km. Les deux canalisations nécessaires - une pour la vapeur, l'autre pour le retour d'eau - passent pour la majeure partie du réseau sous la voirie, dans un caniveau de béton.

Aujourd'hui, près de la moitié de la chaleur distribuée par la CPCU est issue de la combustion des déchets ménagers. Le réseau chauffe près d'un quart des parisiens (soit 500 000 personnes) et la moitié des bâtiments publics (dont le Sénat, l'hôtel de ville, le musée d'Orsay, l'IMA, le Centre Georges Pompidou... etc.), ce qui fait du réseau parisien le

²⁷⁹ Le site CPCU de Saint-Ouen, en plus de la cogénération, produit aussi de la vapeur directement à partir du gaz naturel et à partir du charbon. Sa puissance totale est de 982 MW thermiques. C'est le plus important centre de production de CPCU en dimension avec 3 procédés différents répartis sur 2 « sites » en un même lieu : cogénération (équivalent à un site de production à part entière), chaudières au gaz naturel et chaudières à charbon de type Ignifluid (formant un second site) <http://www.cpcu.fr/La-chaleur-urbaine/PRODUCTION>

²⁸⁰ *Ibid*, p 176-177.

troisième réseau au monde, dans la production de chaleur directe, de chauffage urbain par la vapeur²⁸¹. Comme nous le remarquons, dès les années 1970, plusieurs choix énergétiques se présentent. La consommation énergétique varie selon le type d'énergie utilisée. Dans les années 1980, plusieurs propositions sont présentées pour utiliser plusieurs types d'énergies en mêmes temps afin de plus économiser la consommation par apport aux variations de prix d'énergie. Nous allons montrer quelques exemples de ces solutions.

Systeme de la « bi-energie » :

Le développement de système de la « bi-energie » qui est né de la crise de 1974 et des suivantes. Quand, chaque fois, le prix du pétrole s'envole, on prévoit sa mise en sommeil. La bienergie offre la possibilité de réduire les conséquences au niveau de l'approvisionnement énergétique en utilisant une source énergétique nationale, comme l'électricité, avec des autres sources comme le fioul et le gaz. Ces avantages ne sont pas négligeables, puisqu'en 1982 l'INSEE dénombre 2 909 100 logements équipés d'un chauffage central alimenté au fioul domestique, dont 1 134 000 en HLM en plus de 3 600 000 maisons individuelles chauffées aussi au fioul²⁸². Il s'agit, en fait, d'ajouter, sur une installation existante fonctionnant avec un combustible stockable, un système de production de chaleur utilisant de l'électricité, énergie non stockable. La pompe à chaleur (PAC) Perche se greffe sur une installation existante, dont les émetteurs de chaleur sont déjà en place et les plus favorables à l'emploi de la PAC sont classés dans l'ordre : panneaux de sol, ventilo-convecteurs, radiateurs, convecteurs²⁸³.

Le chauffage synergétique²⁸⁴ :

Le chauffage synergétique est un système de chauffage entièrement nouveau dans les années 1970, dont la principale particularité est de faire obligatoirement appel à la combinaison de plusieurs types d'énergie, trois en général. Ces énergies d'origines différentes sont cependant étroitement coordonnées entre elles, ce qui explique et justifie le qualificatif de « synergétique ». L'énergie de base est thermique. Elle est obtenue par la récupération des pertes de chaleur de l'édifice chauffé, qu'il s'agisse des pertes subies par ventilation ou des

²⁸¹ <http://www.senat.fr/rap/r05-436/r05-4369.html> ; http://www.senat.fr/rap/r05-436/r05-436_mono.html#toc157; http://www.enr.fr/docs/2010104945_SERGothermie_20100607LD.pdf. Consulté le

²⁸² La bi-energie pour le neuf aussi, In : *Cahiers techniques du bâtiment-spécial*, n°85, bis novembre 1986, p. 51.

²⁸³ *Ibid*, p. 53.

²⁸⁴ *Cahiers techniques du moniteur*, n° 18, septembre, 1978, pp. 79 – 91.

dépense à travers les parois de l'édifice. Cette récupération est naturellement incomplète et l'utilisation d'une pompe à chaleur est obligatoire. L'énergie mécanique consommée par le compresseur de cette pompe à chaleur sera récupérée dans une large mesure. Elle contribue au chauffage à concurrence de 18 à 25 % des besoins. L'énergie solaire est utilisée également, soit par l'intermédiaire de la pompe à chaleur, soit directement, soit encore par une combinaison des deux méthodes.

L'énergie thermique de récupération :

Avec les nouvelles contraintes thermiques des années 1970, le centre d'essais et de recherche sur les utilisations du gaz (CERUG) de la Direction des études et techniques nouvelles (DETN) de Gaz de France commence un travail de recherche pour répondre aux questions suivantes : « Comment enfin diminuer de 50 % la consommation d'énergie dans le secteur résidentiel neuf, comme le souhaitent les pouvoirs publics, à l'horizon 1985 ?²⁸⁵ » Les besoins du bâtiment (chauffage et production d'eau chaude sanitaire) sont satisfaits au moyen d'énergies diverses. Les pertes calorifiques d'un édifice normalement chauffé s'effectuent par trois voies différentes :

- Par les parois opaques de l'édifice (murs, planchers sur locaux froids, terrasses ou toitures) ; ces pertes représentant 40 à 50 % du total²⁸⁶.
- Par les parois vitrées, à travers lesquelles, suivant qu'il existe ou non des doubles vitrage, ces pertes représentent 20 à 30 % du total.
- Par évacuation de l'air des locaux chauffés, ces pertes représentent 30 à 35 % du total.

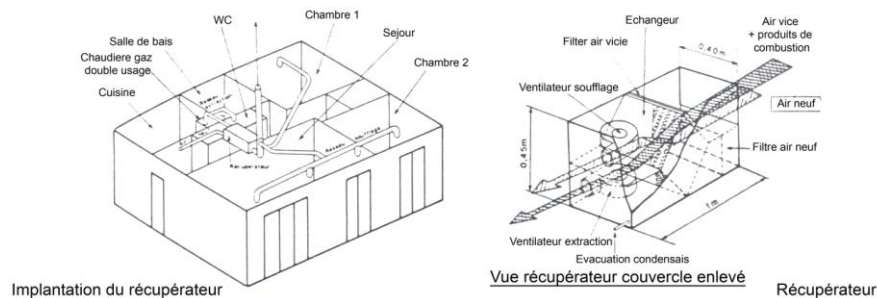


Figure 44: Une implantation du double flux gaz et la récupération de chaleur dans maison individuelles. Source : Cahiers techniques du Bâtiment, n° 45, mai, 1982, p 81.

²⁸⁵ Le chauffage à eau chaude est-il condamné ?, In : Cahiers techniques du Bâtiment, n° 45, mai, 1982, pp. 71-82.

²⁸⁶ La récupération des chaleurs perdues par les murs et planchers fait l'objet d'un brevet français n° 77 28 305 septembre 1977, « installation récupérant les déperditions thermiques des immeubles chauffés ».

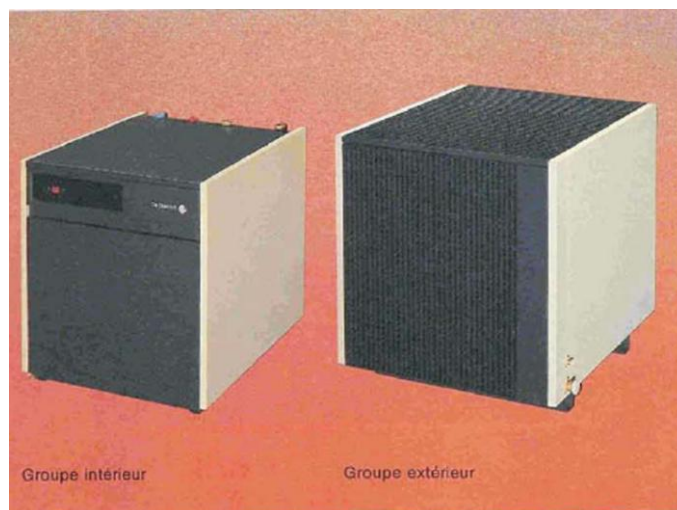


Figure 45: Pompes à chaleur air extérieur/eau (Perche i). Source : Catalogue De Dietrich : chauffage eau chaude sanitaire toutes énergies 1982, p 110. Les pompes PACHA Y 82 et Y 102 permettent de réaliser de substantielles économies de combustibles en moyenne (75%) et de réduire la dépense de chauffage de (35% à 50%)

L'une des autres conséquences des crises énergétiques est le développement des systèmes de régulation qui deviennent électroniques et s'informatisent à partir des années 80 et plus largement encore à la fin du siècle. « Le Costic a joué dans ce domaine un rôle précoce en proposant d'un mini-ordinateur (SEDATA) commercialisé par la SEDIT en 1978. Des logiciels permettent le dimensionnement des installations comme le calcul des isolations thermiques »²⁸⁷. On cherche également à optimiser les installations de chauffage en fonction de leur utilisation permanente ou intermittente. Pour cette dernière, on propose un chauffage central de base complété localement en fonction des besoins. C'est ainsi que le chauffage par le sol fait sa réapparition, malgré la mauvaise réputation que celui-ci a acquis pendant les années 60 et 70. Ce chauffage peut être réalisé par des résistances électriques dans le sol, comme par des tuyaux recevant de l'eau chaude à basse température. Les tuyaux noyés dans les dalles ne sont plus en cuivre mais en matières synthétiques.

Conclusion :

Nous avons présenté le développement de chauffage en France. Jusqu'à la fin du XIX^e siècle, le chauffage connaît un développement rapide et riche dans les équipements et les systèmes divers utilisés. Le chauffage central, le chauffage collectif le radiateur, le petit appareil d'appoints et d'autres sont utilisés dans les habitats comme dans les bâtiments publics clés en

²⁸⁷ Cité d'un article non publiée d'Emmanuelle Gallo, « Costic - histoire du chauffage »

France. Le chauffage urbain apparaît à Paris dans les années 1920. Le choix énergétique se développe aussi, de bois, charbon de bois, coke, fioul, gaz et électricité. La crise pétrolière de 1974 en France clame l'importance de faire des économies dans la consommation énergétique. L'utilisateur du fuel domestique voit ses charges augmenter d'environ 80 %²⁸⁸. L'énergie devenant très chère, les économies deviennent une nécessité impérieuse, pour modérer le budget « combustible » du consommateur. La première réglementation thermique en 1974 limite la température intérieure de locaux à 20 °C. Il dispose des obligations pour réduire la consommation énergétique de chauffage dans le logement et après, en 1979 dans le tertiaire. Le prix pas cher de l'électricité conduit à développer le chauffage électrique dans le neuf comme dans l'ancien. Or le prix de celui-ci augmente aussi qui ouvre la porte au chauffage au gaz, chauffage solaire et le chauffage géothermie. Le chauffage urbain ne cesse pas d'agrandir pour alimenter 40 % de parisiens. Finalement, chaque augmentation de prix de l'énergie est accompagnée d'innovations dans les systèmes de chauffage, On est toujours à la recherche de dépenser moins dans les conditions de confort thermique. Cela conduit, par conséquence, à développer des nouveaux systèmes de chauffage « chauffage bi-énergie, chauffage synergétique », qui utilise deux ou trois types d'énergie dont l'énergie renouvelable.

²⁸⁸ Le prix du fuel domestique à Paris, tarif vrac 2 à 3 m³ est passé de 29 f/hl en juin 1973, à 53 F/hl en janvier 1974.

Conclusion

En France, avec la révolution industrielle, ingénieurs, chimistes, physiciens et médecins, commencent à s'intéresser au problème du chauffage et de la ventilation afin de réaliser le confort thermique souhaitable dans le cadre bâti, mais, comme le constate Victor Charles Joly à la fin des années 1860²⁸⁹, les premiers efforts ne concernent pas tous les types de bâtiments. C'est d'abord dans les hôpitaux, les casernes et les prisons que les systèmes de chauffage et de ventilation sont étudiés puis installés. Même si la science de la ventilation semble naître en France, la pratique est loin de se diffuser dans la construction. Le chauffage et la ventilation sont plus avancés en Grande Bretagne grâce à ses chimistes, physiciens et ingénieurs²⁹⁰, En outre, l'architecture et les travaux de génie civil, sont entre les mêmes mains, « beaucoup d'habiles ingénieurs sont des architectes distingués, [...] »²⁹¹. En France, les architectes restent étrangers à ce mouvement jusqu'au milieu de XIXe siècle²⁹².

L'histoire montre que le contexte énergétique est une dimension déterminante de l'évolution du cadre bâti, tant par le choix, la conception et la mise en œuvre des matériaux qu'à travers son incidence sur la morphologie et la typologie du bâti. Les solutions visant à économiser l'énergie induisent de nouvelles modalités d'usage que doit intégrer le projet architectural. La mise en œuvre de nouveaux savoir-faire thermiques ou la redécouverte de savoir-faire plus traditionnels contribuent à l'enrichissement des formes architecturales. La dynamique de l'« architecture solaire » dans les années 1950 comme les travaux de Michel Trombe, le développement de l'« architecture bioclimatique », dans les années 1970 provoquent une prise de conscience et posent le problème de la maîtrise de l'énergie. En effet, parallèlement à tout un secteur de recherches et d'expérimentations sur le chauffage solaire, c'est-à-dire sur une technique de production de calories, se développent aussi de nombreux travaux sur la

²⁸⁹ JOLY, Victor Charles. *Traité pratique du chauffage, de la ventilation, et de la distribution des eau dans les habitations particulières : à l'usage des architectes, des entrepreneurs, et des propriétaires*. Paris : J. Baudry, 1869, ix-208 p.

²⁹⁰ *Ibid.*, p. xxix.

²⁹¹ *Ibidem*.

²⁹² Les architectes participent avec des médecins et pharmaciens, dans le cadre des commissions de logements insalubre, aux descriptions relevant des états sanitaires entre 1850 et 1860. BARLES, Sabin. *La ville délétère : médecins et ingénieurs dans l'espace urbain XVIIIe-XIXe siècles*. Seyssel : Champ Vallon, (coll « Milieux »), 1999, 375 p. ; FIJALKOW, Yankel. *La construction des îlots insalubre, Paris 1850-1945*. Paris : L'Harmattan, 1998, 273p.

réduction des besoins thermiques du bâtiment en jouant sur la conception de l'enveloppe. Les équipements de chauffage répondant de leur côté aux exigences de l'hygiène.

La crise pétrolière, en 1973, marque une période de transition entre le temps de l'hygiène — paroi de verre propre et inaltérable, mécanisation de l'échange avec l'environnement — et le temps de l'architecture bioclimatique et l'écologie urbaine. Les architectes s'intéressent plus aux questions d'orientation, aux échanges de chaleur de l'enveloppe avec son environnement, l'utilisation d'« apports gratuits » de rayonnement solaire. Le verre se présente de plus en plus dans les édifices publics. La façade légère d'aujourd'hui, est plus volontiers en verre, VEA, verre pareclosé ou VEC. Après la crise de 1974, le métier de thermiciens connaît un développement important, les écoles d'architectes commencent à proposer des cours spécialisés en thermique visant principalement les élèves et les jeunes architectes dans les années 1970-1980, disponibles pour investir un sujet non rentable à court terme. Le choc pétrolier semble intervenir plus nettement dans la pédagogie de l'architecte — à Toulouse, La Villette, Rennes, Nancy — que dans celle de l'ingénieur — Vaulx-en-Verin — en bâtiment, surtout dans les projets scolaires²⁹³. La formation continue des techniciens de la construction, la réorientation des nombreux architectes chômeurs issus de la crise permettent cependant dans les années 1975-1980 de mettre en œuvre un nouveau savoir-faire.

De nouveaux modes de chauffage se développent. Le chauffage électrique s'installe dans l'habitat. Le succès est rapide, la pompe à chaleur électrique connaît une augmentation de sa vente en 1981 et 1982, mais, cela ne poursuit pas. Elle chute brutalement en 1984. Le gaz devient moins cher, ce qui conduit à développer le chauffage au gaz. Les chauffages solaire, géothermie et urbain augmentent également dans l'habitat collectif. Dans les années 1980, l'énergie géothermique est utilisée essentiellement pour fournir de la chaleur au secteur résidentiel, à l'exception reconnue de Coulommiers et Meaux II où des hôpitaux sont desservis, et de Bruyères-le-Châtel où l'eau douce fournit ses calories pour le chauffage de locaux industriels et est ensuite utilisée en tant que telle. Le chauffage alimenté par deux ou trois sources d'énergie, dont une renouvelable et gratuite, commence à prendre place dans le marché d'équipements mécaniques afin de réduire le budget du chauffage. Cette progression

²⁹³ Entretiens avec M. Guaracino, professeur de thermique à l'ENTPE à Lyon de 1976 à 2010 le 12 octobre 2019. Entretiens avec A. Guillaume, enseignant-chercheur chargé de l'enseignement des sciences sociales dans cette même école d'ingénieurs de 1976 à 1981.

dans les domaines techniques et conceptuels est accompagnée par une politique d'économie d'énergie, nationale et d'origine européenne communautaire que nous allons aborder maintenant.

Deuxième partie
la politique énergétique de l'Europe et de la
France

Durant la période 1950-1970, les besoins en pétrole des pays de l'Union Européenne augmentent considérablement tandis que les besoins en charbon régressent. En 1968, plusieurs dizaines de cadres supérieurs, occupant des postes relativement importants dans leurs pays respectifs (un recteur d'université allemande, un directeur de l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE), un vice-président d'Olivetti, un conseiller du gouvernement japonais...), souhaitent lancer la recherche sur le problème de l'évolution du monde pris dans sa globalité pour tenter de cerner les limites de la croissance. En 1972, la réponse est présentée par une équipe de chercheurs du *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), suite à la demande du « Club de Rome ». Ce rapport « Meadows »²⁹⁴ compose un document de synthèse. Jean-Marc Jancovici explique que cette recherche aborde

« L'Évolution des principales variables étudiées de 1900 à 2100 avec des ressources naturelles équivalentes aux ressources connues en 1970. Bien sûr, de 1900 à 1970 le modèle reproduit l'évolution constatée des variables en question. La perpétuation de la "croissance" conduit à un effondrement du niveau de vie (quota alimentaire par tête et produit industriel par tête) au début du XXI^e siècle, avec retour en 2100 à des valeurs bien plus basses que celles en vigueur en 1900. L'élément déclencheur est ici la baisse des ressources naturelles non renouvelables. »²⁹⁵

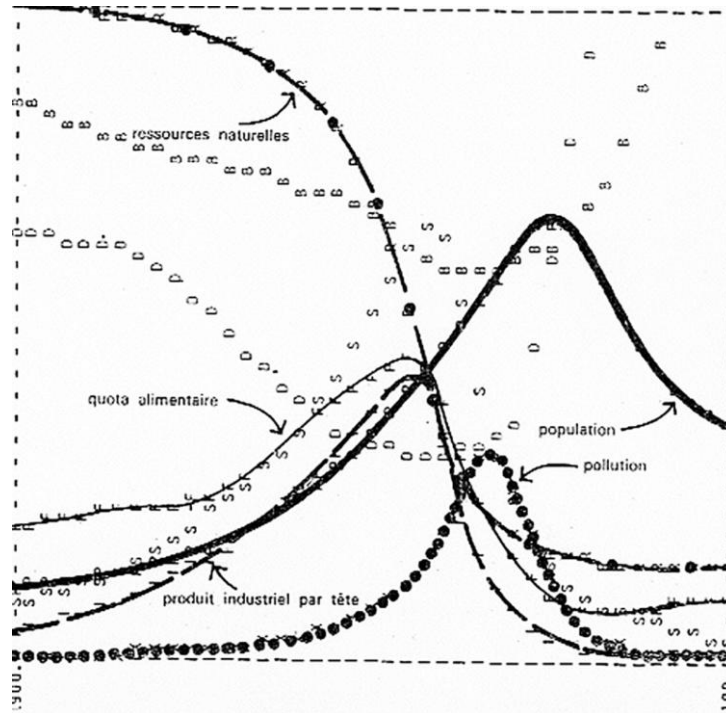
Le rapport présente plusieurs scénarios de l'évolution de ressources jusqu'à 2100. Il conclut que la croissance matérielle perpétuelle conduit forcément à un "effondrement" du monde qui nous entoure, et que l'aptitude à recycler ou à économiser les matières premières que nous consommons, le contrôle de la pollution, ou encore le niveau des ressources naturelles, restent vaines, l'effondrement²⁹⁶ se produira avant 2100. Meadows et son équipe,

²⁹⁴ Nommé au nom du directeur de recherche Dennis MEADOWS.

²⁹⁵ JANCOVICI, Jean-Marc, « Qu'y a-t-il donc dans le "Rapport du Club de Rome" ? », Février 2003 - dernière modification : novembre, 2009, [http: http://www.manicore.com/documentation/club_rome.htmlvu](http://www.manicore.com/documentation/club_rome.htmlvu), en 22/11/201.

²⁹⁶ Par "effondrement" il ne faut pas entendre la fin de l'humanité, mais la diminution brutale de la population accompagnée d'une dégradation significative des conditions de vie (baisse importante du produit industriel par tête, du quota alimentaire par tête, etc) de la fraction survivante.

publie en 2004 *Limits to Growth: the 30-Year Update*²⁹⁷. Il reproduit l'évolution énergétique entre 1970 et 2000. Les résultats viennent confirmer l'hypothèse du premier rapport (avec un décalage des dates), confirmant la nécessité de faire des économies dans la consommation de ressources planétaire.



Évolution des principales variables étudiées de 1900 à 2100 avec des ressources naturelles équivalentes aux ressources connues en 1970. Bien sûr, de 1900 à 1970 le modèle reproduit l'évolution constatée des variables en question.

Ce rapport, suivi par la crise pétrolière en 1973, choqua l'Europe savante qui la reçut comme une gifle — parce qu'elle est une allégorie féminine — voire comme un « coup de poing » — parce que constitué d'États virils et belliqueux. Pourquoi en fait-on immédiatement une politique communautaire et publique ? Quels sont les enjeux politiques et économiques ? Au plan énergétique, l'Europe de l'Ouest est différente de l'Europe de l'Est et des États-Unis : pourquoi tant de divergences ? En Europe même des différences profondes séparent les politiques et les interprétations des textes communautaires, de sorte qu'au-delà des recommandations banales, chaque pays n'interprète-t-il pas à sa manière ?

Un travail collectif européen commence avec la notion de la Commission des Communautés européennes dès la fin des années 1950. L'énergie et l'environnement font partie de ce travail collectif. Chaque pays applique sa politique d'économie d'énergie et une synthèse de résultats

²⁹⁷ MEADOWS, Dennis, *Limits to Growth: the 30-Year Update*, UK, Earthscan, 2005, 338p.

se fait tous les ans. La France a une stratégie économique qu'elle partage avec certains pays — Belgique — mais se départage avec d'autres — Allemagne. Regardons précisément l'émergence, le développement et l'épanouissement des économies d'énergie françaises, et d'abord Paris. On pourrait, pour simplifier à l'extrême, dire que l'*æconergie* — l'économie d'énergie — est souterraine jusqu'en 1973, c'est-à-dire renfermée dans des tuyaux, sous les trottoirs, mais qu'elle sort de terre urbaine et dès lors pousse comme une fleur grimpante en façade des immeubles neufs puis de plus en plus anciens. L'*æcoénergie* change-t-elle si profondément la ville ? Comment et pourquoi l'État investit-il le secteur public ?

Chapitre 4 : La politique européenne d'économie l'énergétique

Chapitre 4 : La politique européenne d'économie l'énergétique	145
La naissance d'une politique énergétique européenne	149
L'efficacité énergétique en Europe	150
L'opinion européenne et l'économie d'énergie :	154
La disparité des mesures d'efficacité énergétique:	160
Conclusion :	163

La crise pétrolière débute en septembre 1973 lorsque l'Organisation des Pays Exportateurs de Pétrole (OPEP) décide d'augmenter le prix du pétrole brut de référence, le *brent*. Elle met subitement en lumière le problème de la dépendance énergétique dans les pays européens de l'Ouest. En effet, ceux-ci ont largement puisé la houille, le pétrole, le gaz naturel dans leurs mines pour assurer leur longue industrialisation, de sorte qu'il ne reste plus que quelques réserves que les militaires qualifient de « stratégiques ». L'Europe achète une grosse part de ses énergies fossiles à l'étranger. Dès lors, la sécurité énergétique devient une préoccupation majeure. L'Europe doit faire face à plusieurs défis en même temps : crise énergétique — l'homme consomme plus de ressources que la nature ne peut en donner — et crise environnementale — le réchauffement climatique implique un changement radical de modes de production et de consommation d'énergie. Enfin, crise économique et financière qui limite les capacités à trouver rapidement des solutions.

Le mot « défi », largement employé par les économistes et les politiciens, est un terme guerrier, chevaleresque : lancer un défi, c'est provoquer ; défier c'est mettre en compétition. De sorte que l'usage du mot même fabrique une ambiance tendue : une politique énergétique répondant aux besoins des citoyens à des prix raisonnables par dissociation de la croissance économique et de la consommation énergétique, sans provoquer de hausse de la consommation d'énergie.

Un travail collectif est alors commencé pour économiser l'énergie fossile et chercher à développer l'énergie renouvelable. « Le cloisonnement des marchés et la baisse des prix ont toutefois limité l'ampleur et l'étendue de cette dissociation, notamment en ce qui concerne la consommation ou l'utilisation finales de l'énergie »²⁹⁸. Le thème l'« intensité énergétique » est généralisée durant cette période pour indiquer le rapport entre la consommation énergétique d'un pays et son produit intérieur brut (PIB)²⁹⁹. Elle « représente la quantité d'énergie nécessaire pour produire une unité de PIB. L'évolution de cette intensité montre la

²⁹⁸ « L'efficacité énergétique dans la Communauté européenne - Vers une stratégie d'utilisation rationnelle de l'énergie », COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES, Bruxelles, le 29.04.1998 COM(1998) 246 final, p 7-9.

²⁹⁹ Au niveau mondial, l'intensité énergétique peut, par exemple, être exprimée en tonne d'équivalent pétrole (tep) par millier de dollars de PIB.

capacité de l'économie d'un pays à générer de la richesse en utilisant plus ou moins d'énergie. Moins l'intensité énergétique est élevée, plus l'efficacité économique est importante »³⁰⁰. Elle permet de mesurer le degré d'« efficacité énergétique » d'une économie.

Il est intéressant d'observer l'évolution de « l'intensité énergétique » en France entre 1970 et 2007, dans le graphique et tableau suivants. Depuis les années 1970, des efforts sont mis en place pour une utilisation rationnelle de l'énergie, mais les analyses de la situation des années 1990³⁰¹, montrent

« qu'il faut renforcer les efforts, notamment par des politiques et des mesures communes et coordonnées de meilleure qualité à l'échelon de la Communauté et des États membres pour accroître l'efficacité énergétique, en particulier au niveau de la consommation d'électricité, dont la production représente quelque 30% des émissions de CO₂ de la Communauté ».

Tableau 2: Intensité énergétique et pétrolière en France. Source : Lecture : Consommations en TEP rapportées au PIB Base 100 en 1973 pour l'énergie primaire.

	énergie primaire	consommation finale d'énergie	consommation de pétrole
1973	100	74	68
1979	90	65	53
1985	85	55	35
1990	83	51	32
2000	79	47	28
2005	75	44	25
2006	74	43	24
2007	72	43	24

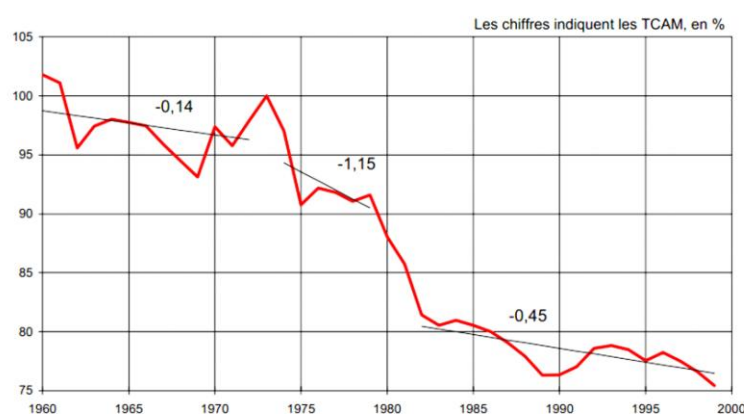


Figure 46 : La baisse de l'intensité énergétique primaire. Sources : INSEE et Observatoire de l'énergie.

³⁰⁰ DUJIN, Anne. POQUET, Guy. MARESCA, Bruno. La maîtrise des consommations dans les domaines de l'eau et de l'énergie. *Cahier de Recherche*, N° 237, NOVEMBRE 2007, p 16.

³⁰¹ *Idem*.

Dans cette première figure : L'intensité énergétique diminue beaucoup depuis 1973. Elle baisse du tiers. Les deux chocs pétroliers de 1973 et 1979 conduisent à des baisses durables séparées par un palier. Le mouvement de baisse a repris depuis une décennie³⁰². Les économies d'énergie sont encouragées et l'intensité énergétique primaire, qui s'était dégradée au début des années 1990, est descendue à son minimum historique en 1999, aidée par la reprise de la croissance économique.

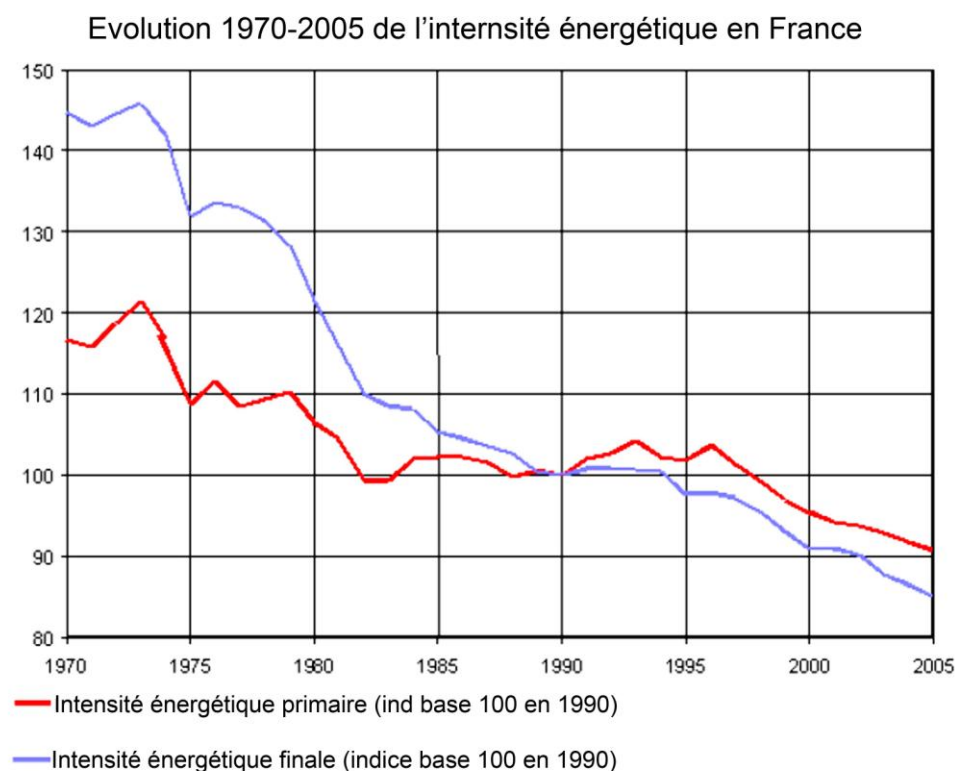


Figure 47: Évolution 1970-2005 de l'intensité énergétique en France. Sources : DUJIN, Anne. POQUET, Guy. MARESCA, Bruno. La maîtrise des consommations dans les domaines de l'eau et de l'énergie. *Cahier de Recherche*, N° 237, NOVEMBRE 2007, p 17³⁰³.

Nous abordons le cadre législatif européen. Ensuite nous aborderons l'opinion des citoyens européens sur les efforts réalisés pour la réduction de la consommation de sources d'énergie primaire. Finalement, nous préciserons les mesures de la France en matière

³⁰² ARTUS, Patrick et al, Les effets d'un prix du pétrole élevé et volatil, Rapport, Direction de l'information légale et administrative. Paris, 2010 - ISBN : 978-2-11-008213-8, pp 20-21.

³⁰³ Consommation d'énergie primaire : consommation finale + pertes + consommation des producteurs et des transformateurs d'énergie (branche énergie).

Consommation d'énergie finale : consommation d'énergie finale - nette des pertes de distribution (exemple : pertes en lignes électriques) - de tous les secteurs de l'économie, à l'exception des quantités consommées par les producteurs et transformateurs d'énergie. La consommation finale énergétique exclut les énergies utilisées en tant que matière première.

d'efficacité énergétique, et les comparerons avec celles de la Grande Bretagne et de l'Allemagne.

La naissance d'une politique énergétique européenne

La problématique énergétique européenne commence par le traité du Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier (CECA) en 1952 En effet, le but est de

« contribuer, grâce au marché commun du charbon et de l'acier, à l'expansion économique, au développement de l'emploi et à l'amélioration du niveau de vie,[...]. Ainsi, les institutions doivent veiller à l'approvisionnement régulier du marché commun en assurant un égal accès aux sources de production, en veillant à l'établissement des prix plus bas et à l'amélioration des conditions pour la main d'œuvre.[...] »³⁰⁴.

En juin 1955, la Conférence de Messine réunit les ministres des affaires étrangères des six États membres de la CECA pour relancer la construction communautaire.³⁰⁵ « Les six ministres se sont mis d'accord sur les objectifs suivants : [...] La mise à la disposition des économies européennes d'énergie plus abondante à meilleur marché [...] ». En matière d'énergie classique, la résolution de Messine prévoit la mise à la disposition des économies européennes d'énergie plus abondante et à meilleur marché, notamment à travers les échanges de gaz et de courant électrique permettant d'augmenter la rentabilité des investissements et de réduire le coût des fournitures. La résolution de Messine s'attaque aussi au domaine de l'énergie atomique qui conduit à signer, en 1957, le traité d'Euratom (ou CEEA, Communauté Européenne de l'Énergie Atomique) à Rome, qui devient l'origine de la construction communautaire³⁰⁶. Ce traité conduit tout d'abord à l'institution d'un Comité mixte Énergie, constitué de membres de la Haute Autorité et du Conseil des ministres de la CECA (représentant par conséquent les États membres). Le programme de ce groupe prétend présenter le 22 avril 1959 un premier rapport sur une politique coordonnée dans le domaine de l'énergie et, au mois de mars 1960, une note intérimaire sur la coordination des politiques

³⁰⁴ Traité instituant la Communauté européenne du charbon et de l'acier, traité CECA, http://europa.eu/legislation_summaries/institutional_affairs/treaties/treaties_ecsc_fr.htm vu le 02/04/2013

³⁰⁵ <http://www.cvce.eu/viewer/-/content/41ec71a6-2eb5-43c7-97e2-75ca5547217e/d1086bae-0c13-4a00-8608-73c75ce54fad/fr/> vu le 12/06/2012; BARJOT Dominique, *Penser et construire l'Europe (1919-1992)*, Paris : CNED : Éd. Sedes, 2007, p 148-155. « La Haute Autorité a pour mission d'organiser un marché européen moderne du charbon et de l'acier : elle conduit les États vers le démantèlement progressif des droits de douane, des contingentements, et des tarifs préférentiels de transports ; elle doit aussi prévenir la reconstitution de cartels. »

³⁰⁶ La genèse des traités de Rome (1955-1958), <http://www.cvce.eu/recherche/unit-content/-/unit/3cb9e142-6ac4-4184-8794-fc3cf619cf33> vu le 12/06/2012.

énergétiques. Suite à la résolution du Parlement européen du 20 février 1962 sur la coordination des politiques énergétiques et à la décision du Conseil des ministres du 5 avril 1962, le Groupe de travail produit le 25 juin 1962 un Mémoire sur la politique énergétique contenant une première série de propositions en vue de la réalisation d'un marché commun de l'énergie³⁰⁷.

Sous l'effet d'une série de circonstances ponctuelles intervenues entre la signature des « Traités de Rome » et le début des années Soixante, telles que – la baisse des prix du pétrole décidée par les grandes compagnies pétrolières, l'augmentation des importations énergétiques en provenance des pays du bloc soviétique et la découverte des gisements pétroliers du Sahara –, le secteur européen de l'énergie est, pour la première fois de son histoire, associé à une économie d'abondance et de disponibilité des ressources³⁰⁸. Cette évolution permit à l'Europe de devenir « beaucoup moins vulnérable » selon les termes du Rapport Robinson, produit par la Commission consultative de l'Énergie de l'OECE en janvier 1960³⁰⁹. Robinson propose d'importer plus de pétrole : « L'augmentation des besoins pourra facilement être couverte par l'importation des produits pétroliers »³¹⁰. En effet, les premières années de vie de la CEE connaissent une aggravation notable, rapide et régulière du chômage dans l'industrie charbonnière en Europe. De 1957 à 1962, la main-d'œuvre des bassins houillers européens s'était réduite de près de trois cent mille personnes, soit 27 % du total tandis que la Communauté subit une augmentation des importations de pétrole (+ 16,1 % pour les seules années 1963 et 1964)³¹¹.

L'efficacité énergétique en Europe

Depuis la crise pétrolière de 1973 et l'augmentation du prix du pétrole, les économies d'énergie devient un objectif politique officiel de la Communauté et de ses États membres. La sécurité énergétique devient une préoccupation majeure et les économies d'énergie constituent

³⁰⁷ CURLI, Barbara. Le débat sur une politique européenne de l'énergie : 1958-1964, SÉANCE 6 QUESTIONS ENERGÉTIQUES, 30 octobre 2002, p 4.

³⁰⁸ Sur tous ces thèmes, que nous ne pouvons développer ici, mais dont chacun devait avoir des répercussions importantes sur la politique européenne, se reporter en général à CLARK, John. G. *The Political Economy of World Energy : a Twentieth-Century Perspective*, University of North Carolina Press Eduring Edition, January, 1991, p. 124-129 ; KAPSTEIN, Ethan. B. *The Insecure Alliance. Energy Crises and Western Politics since 1944*, Oxford University Press 1990, p. 127-128.

³⁰⁹ CURLI, Barbara., *Op.Cit.*, P 6.

³¹⁰ GENDARME, René. Réflexions sur la politique énergétique européenne. In: *Revue économique*. Volume 13, n°4, 1962, p 506.

³¹¹ *Ibid.*, p 8-9.

un élément important de la stratégie de réduction des importations de pétrole. Or, à chaque fois que ces problèmes énergétiques disparaissent, les efforts déployés pour améliorer l'efficacité énergétique se sont relâchés. C'est pour cela que la Commission Européenne et les États membres débutent une réflexion stratégique commune sur l'économie d'énergie. « L'efficacité énergétique » devient un élément important de la politique. Or, dès la fin des années 1980, la Commission s'avise de ce que les différents instruments adoptés par le Conseil dans les années 1970 et au début des années 1980 pour favoriser l'efficacité énergétique ne permettent pas de répondre aux attentes. Dès lors, les États membres sont mis davantage à contribution³¹². En 1986, le Conseil adopte une résolution concernant de nouveaux objectifs de politique énergétique communautaire, qui recommande une amélioration de 20 % de l'intensité énergétique au niveau de la demande finale d'énergie pour l'année 1995³¹³. Dès 1987, la Commission établit une revue des instruments des mesures de promotion de l'efficacité énergétique permettant d'atteindre une meilleure efficacité énergétique³¹⁴ : informations, réglementations et stimulations des investissements, notamment via le mécanisme du tiers investisseur³¹⁵.

En 1993, le Conseil approuve la directive SAVE (Actions déterminées en faveur d'une plus grande efficacité énergétique)³¹⁶, qui pose les bases de la politique européenne de promotion de l'efficacité énergétique.

« le Conseil des ministres de l'environnement et de l'énergie est convenu que la Communauté et les États membres, [...], sont disposés à prendre des mesures pour parvenir à stabiliser, d'ici à l'an 2000, les émissions totales de dioxyde de carbone au niveau de 1990 dans l'ensemble de la Communauté; qu'il a été convenu que les États membres qui, au départ, ont une consommation énergétique relativement faible et donc des niveaux peu importants d'émissions mesurés par habitant ou, sur une autre base appropriée, ont le droit d'avoir, en matière de dioxyde de carbone, des objectifs et/ou des stratégies en rapport avec leur

³¹² L'efficacité énergétique dans la Communauté européenne ...*Op. Cit.*, le 29.04.1998 COM, 1998, p 7-9.

³¹³ Résolution du Conseil du 16 septembre 1986 concernant de nouveaux objectifs de politique énergétique communautaires pour 1995 et la convergence des politiques des États membres. JO C 241 du 25 septembre 1986.

³¹⁴ Communication de la commission du 13 mai 1987, « pour la poursuite de la politique d'efficacité énergétique dans la communauté européenne », (COM (87) 223 final). Dans cette communication 14 mesures de promotion de l'efficacité énergétique étaient proposées aux États membres pour leur permettre de respecter l'échéance de 1995.

³¹⁵ Le principe du tiers investisseurs dans le domaine des énergies est assez simple: un propriétaire qui n'a pas la possibilité d'investir dans un bâtiment pour faire des économies d'énergie va demander à un tiers de réaliser cet investissement à sa place. Les économies libérées par l'investissement seront pour partie laissées au propriétaire et pour une autre partie, retournées au tiers investisseur jusqu'à la durée du contrat prévue initialement. Ce dernier rentabilisera donc de cette façon son investissement.

³¹⁶ Directive 93/76/CEE du Conseil de 13 septembre 1993 visant à limiter les émissions de dioxyde de carbone par une amélioration de l'efficacité énergétique (SAVE), *J.O.C.E.* n° L 237 de 22 septembre 1993, p. 28.

développement économique et social, tout en continuant à améliorer le rendement énergétique de leurs activités économiques »³¹⁷.

À la suite de ce texte, l'Union européenne adopte toute une série de directives dont l'objectif est essentiellement d'informer le consommateur quant à l'efficacité énergétique des appareils et des articles qu'ils achètent³¹⁸. Malgré le programme SAVE, le taux global de réduction de l'intensité énergétique pour l'ensemble de la Communauté ne progresse pas sensiblement. La communication de la commission européenne de 1998 montre qu'

« en 1995, l'amélioration atteint seulement 12 %, bien en dessous de l'objectif de 20 %. Plus alarmant encore, ce taux s'élève à peine à - 0,6 % par an si l'on considère uniquement la période comprise entre 1990 et 1995, alors qu'il s'établit à - 2 % par an entre 1985 et 1990. [...] L'intensité énergétique pour la consommation finale d'énergie constitue uniquement un indicateur du rendement énergétique, dès lors qu'elle tient compte également de la restructuration économique, de l'évolution de la gamme des combustibles, etc.»³¹⁹.

En 1995, le Conseil lance le programme Joule-Thermie³²⁰. Les objectifs généraux de ce programme consistent à promouvoir la sécurité énergétique, le développement durable, des technologies énergétiques propres et efficaces, la compétitivité industrielle et la cohésion sociale. Pour ce qui concerne les Sources d'Énergie Renouvelables (SER), l'objectif principal est d'accroître la compétitivité financière et la fiabilité des projets, ainsi que la confiance des opérateurs concernés, en vue d'intégrer de manière substantielle les SER dans le système d'approvisionnement énergétique. Un autre objectif consiste à favoriser l'intégration des SER dans l'économie et dans la vie quotidienne³²¹. Une récente évaluation de Thermie révèle que ce programme communautaire est très bien connu des acteurs intervenant sur les marchés communautaires de l'énergie, et qu'il influe sur les parts de marché acquises par les technologies à haut rendement énergétique³²².

En décembre 1996, après évaluation des résultats de SAVE I, le programme SAVE II est adopté. Le but de ce programme est « d'améliorer l'intensité énergétique de la consommation

³¹⁷ *Ibid.*

³¹⁸ WAIDE P., LEBOT B., HINNELLS M., appliance energy standards in Europe, In: *Energy and Building*, 1997, vol. 26, pp. 45-67.

³¹⁹ L'efficacité énergétique dans la Communauté européenne*Op.cit.*, le 29.04.1998 COM,1998, 246 final, Eurostat 1997.

³²⁰ RAPPORT SPÉCIAL N° 17/98 relatif au soutien apporté aux sources d'énergie renouvelables dans le cadre des actions à frais partagés du programme JOULE-Thermie et des actions pilotes relevant du programme Altener, accompagné des réponses de la Commission (présenté en vertu de l'article 188 C, paragraphe 4, deuxième alinéa, du traité CE) (98/C 356/03) <http://eurlex.europa.eu/Notice.do?mode=dbl&lang=fr&ihmlang=fr&lng1=fr,fr&lng2=da,de,el,en,es,fi,fr,it,nl,pt,sv,&val=229855:cs&page>, consulté le 12/12/2012

³²¹ *Ibid.*

finale de 1 % par an en sus de l'amélioration qui aurait été obtenue par ailleurs »³²³. Par rapport au premier programme SAVE, SAVE II est augmenté d'un programme relatif au rendement énergétique à l'échelon régional et urbain et d'un programme relatif à la consommation finale d'électricité³²⁴. En mars 1998, la Commission adopte sa décision concernant l'ouverture du programme SAVE à la Bulgarie, à la Lituanie, à la Pologne, à la Roumanie, à la Slovaquie et à la République tchèque.

Dans les années 2000, la croissance constatée de la demande européenne implique des risques géopolitiques majeurs. Il faut donc agir sur la consommation et, pour cela, des mesures réglementaires sont nécessaires. Elles sont adoptées, mais leur portée relativement modeste fait que tout naturellement leur impact est faible³²⁵. La crise pétrolière de 2005, la crise gazière entre la Russie et l'Ukraine en 2006, la montée en puissance des économies chinoise et indienne et les pronostics sur le tarissement des réserves pétrolières, joints à l'augmentation très significative du prix du baril³²⁶, donnent un coup de projecteur décisif sur plusieurs points. Nous retenons, pour exemple : la dépendance énergétique des pays européens, la sécurité de leurs approvisionnements³²⁷, la croissance de la demande européenne et, pour finir, le niveau d'engagement européen dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Hélène Subrémon, dans sa thèse *Habiter avec l'énergie* raconte l'histoire de la politique énergétique de la Commission Européenne dans les années 2000³²⁸, elle montre les objectifs du nouveau Livre vert de 2006³²⁹.

« Le développement durable, la compétitivité et la sécurité d'approvisionnement. Six domaines prioritaires sont identifiés, tous devant converger vers une réduction de la demande de 20 % d'ici 2020, mais aucune ne s'adresse au consommateur final. Il s'agit plutôt

³²²Évaluation horizontale des programmes énergétiques de la DGXVII, rapport à la Commission, décembre 1996.

³²³ COM(1998) 246 final.

³²⁴ Décision 96/737/CE du Conseil du 16.12.97 concernant un programme pluriannuel pour la promotion de l'efficacité énergétique dans la Communauté - Save II.

³²⁵ Dans cette période, a été adoptée la directive 2003/87/CE du Parlement européen et du Conseil établissant un système d'échange de quotas d'émissions de gaz à effet de serre dans la Communauté, modifiée par la directive 2004/101/CE destinée à lier le système européen avec le marché international de quotas prévu par le protocole de Kyoto.

³²⁶LES CAROUX François, économiste à l'Institut français du pétrole, a déclaré au journal *Le Monde* du 10 mars 2008 : « Si on considère la hausse depuis son début, en 2002, nous sommes passés de 20 à 100 dollars en six ans dans un processus assez continu sur la période. Même en dehors de toute dévaluation du dollar, le pétrole s'est renchéri, comme le montre son prix relatif. Si on convertit le prix du pétrole en or, son prix a doublé depuis la fin des années 1990, en d'autres termes il faut deux fois plus d'or pour acheter du brut. Par rapport à l'euro, le prix du brut a été multiplié par trois. »

³²⁷European Energy and Transport trends to 2030 – update 2005, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2006, 148 p.

³²⁸SUBREMON Hélène, *Habiter avec l'énergie, pour une anthropologie sensible de la consommation d'énergie*, Thèse sous la direction de Philippe BONNIN, Université Paris X – Nanterre, 2009, p 33.

d'achèvement du marché intérieur de l'énergie, de la séparation des activités de réseaux des activités concurrentielles, de la solidarité des États membres, du bouquet énergétique durable [...] ».

Il s'en est suivi une série de décisions du Conseil Européen mandatant la Commission pour formuler un rapport stratégique sur l'énergie dans l'Union Européenne. Ce jusqu'à la mise en œuvre d'un nouveau paquet législatif dit « Climat/Énergie », publié le 23 janvier 2008³³⁰. Celui-ci est adopté par le Conseil des Ministres de l'Union européenne en décembre 2008, durant la présidence française³³¹. La Commission, seule ou conjointement avec le Parlement européen, commande des enquêtes d'opinion dans l'ensemble de l'UE qui reflètent davantage des dispositions face aux économies d'énergie que des pratiques contrôlées. Nous analysons par la suite quelques résultats de ces enquêtes concernant l'énergie et la vie quotidienne des européens.

L'opinion européenne et l'économie d'énergie :

Depuis les années 1970, le thème Énergie figure souvent à la une de l'actualité : problèmes d'approvisionnement, coût de l'essence, relations avec les pays producteurs, crise de l'emploi dans les régions anciennement axées sur le charbon, recherches sur les énergies nouvelles, attraction et contestations du nucléaire, etc. Les situations évoluent et peuvent même se retourner. De cette profusion d'événements, un certain nombre de choses émergent dans la conscience du public, sans que ne se dégage une vue d'ensemble claire et cohérente. Pour cela, depuis 1982, la Direction Générale de l'Énergie fait procéder, à raison d'une campagne tous les deux ans, à une enquête d'opinion sur les questions relatives à l'énergie. Le but de ces études est d'approfondir les informations sur l'opinion européenne sur les problèmes d'énergie en général, la politique énergétique et l'appréciation des différentes sources d'énergie³³². Une certaine attention est portée aux aspects quotidiens de l'énergie pour

³²⁹ http://ec.europa.eu/energy/green-paper-energy/index_fr.htm, consulté le 12/03/2013.

³³⁰ Le paquet comporte quatre propositions législatives : la révision de la directive de 2003 sur le système communautaire d'échanges de quotas d'émissions de gaz à effet de serre (ETS), la directive cadre sur les énergies renouvelables, la directive sur le partage des efforts entre États membres hors ETS et la directive sur le stockage géologique du CO₂.

³³¹ Ces orientations politiques ont des conséquences sur la réduction de la consommation des ménages envisagée au travers d'avancées technologiques nécessaires (devant être rendues possibles par un fort investissement dans la recherche) et par des changements de comportements à opérer.

³³² L'opinion européenne et les questions énergétiques en 1984, *Rapports Eurobaromètre spéciaux* 17, 10/1982, 10.

les européens, tels que la pratique dans son propre foyer, d'économies d'énergie et les différents modes de consommation d'énergie.

Bien que les européens restent préoccupés par la gravité des problèmes énergétiques, l'inquiétude, cependant, diminue selon les années sur la situation de l'énergie en Europe. C'est le cas par exemple des rapports d'étude entre 1982, 1984, 1986 et 1987. Dans le questionnaire proposé aux européens ces années : « estimez-vous qu'il y a aujourd'hui (dans notre pays) un problème de l'énergie, si oui, estimez-vous que c'est un problème très grave, assez grave ou pas très grave ? » ils posent la même question mais « après dix ans », nous trouvons les résultats suivants :

Tableau 3 : La gravité des problèmes d'énergie aujourd'hui et dans dix ans.

La gravité des problèmes d'énergie aujourd'hui et dans dix ans				
estimez-vous qu'il y a aujourd'hui (dans votre pays) un problème de l'énergie? Si oui, estimez-vous que c'est un problème très grave, assez grave ou pas très grave.				
	1982	1984	1986	1987
très grave	24	20	19	15
assez grave	40	35	30	28
pas très grave	15	18	17	21
pas de problème	15	23	26	28
sans réponse	6	4	8	8
total ³³³	100	100	100	100
Indice	2,78	2,54	2,44	2,32
Et en dix ans, estimez-vous qu'il y aura (dans votre pays) un problème de l'énergie? Si oui, estimez-vous que c'est un problème très grave, assez grave ou pas très grave.				
	1982	1984	1986	1987
très grave	30	24	24	18
assez grave	31	28	26	27
pas très grave	12	17	17	19
pas de problème	11	19	17	20
sans réponse	16	12	16	16
Total	100	100	100	100
Indice	2,95	2,64	2,66	2,52

L'opinion européenne sur la gravité des problèmes d'énergie évolution de 1982 à 1987.

Source : Rapports Eurobaromètre spéciaux 36. Pour les européens, la gravité des problèmes

³³³ Selon « l'opinion européenne et les questions énergétiques en 1987 », les résultats sont résumés par cet indice calculé de la façon suivante : très grave = 4, assez grave = 3, pas très grave = 2, pas de problème = 1. Non-réponses exclues du calcul. L'indice peut donc varier théoriquement de 1 à 4. L'opinion européenne et les questions énergétiques en 1987, *Rapports Eurobaromètre spéciaux 36*, mai 1988, 191 p.

d'énergie est important dans la période de crise, jusqu'à 1984. En 1987 ils trouvent ce problème moins important. Pour eux, la situation sera plus inquiétante dans dix ans.

« Par rapport à 1982, l'évolution des opinions dans ce sens est sensible aussi bien dans la Communauté prise comme un ensemble que dans la plupart des pays, même si chez certains, comme les français, les italiens, les grecs et les britanniques, cette évolution est moins nette. La moindre inquiétude des européens est d'autant plus remarquable qu'elle s'accompagne d'un jugement assez lucide à la fois sur les gaspillages d'énergies dans le pays et sur l'indépendance énergétique nationale »³³⁴. En 1986, « la gravité des problèmes d'énergie est ressentie avec une moindre acuité qu'en 1984 et 1982 : près d'un européen sur deux (49 %) continue à trouver ces problèmes graves, mais ils étaient un peu plus nombreux en 1984 et surtout la proportion était de près des deux tiers en 1982 »³³⁵. Or la différence de la situation entre ces études « actuelles » ne se retrouve pas vraiment à propos de la situation future. Les chocs pétroliers font prendre durablement conscience aux européens de la fragilité de leur approvisionnement en énergie³³⁶.

L'intervention des pouvoirs publics dans le domaine de l'énergie est largement admise par les européens, aussi bien en ce qui concerne les politiques nationales que pour une action commune des pays de la communauté pour les approvisionnements énergétiques. L'origine pourrait être mythique : lorsque les Celtes puis les Germains occupaient l'Europe de l'Ouest, l'énergie était le manifeste des dieux — la foudre, les inondations, les tempêtes — donc sacré, collectif, géré par les prêtres ; elle se manifeste dans un espace sacré, sacrificiel que le christianisme adopte et désacralise au nom du dieu *omni potentes*. Les abbés et les évêques usent de leur puissance spirituelle et de leur économie pour « convertir » ces énergies en force dédiée à l'élévation de la spiritualité — moulins à eau ou à vent, forges. La féodalité fait de ces transformations d'énergie sauvage en énergie « banale » un service public — le ban — moyennant prélèvement de 10 % — la dîme³³⁷. Au XIXe siècle encore, la *Society of Civil Engineer Britannique*, définit le génie civil, « capter les énergies dans la nature pour les

³³⁴ L'opinion européenne et les questions énergétiques en 1984», *Rapports Eurobaromètre spéciaux* 25, 7/85, 110p, I.

³³⁵ *Rapports Eurobaromètre spéciaux* 32, 1/88, 176p, pII.

³³⁶ Deux événements principaux ont marqué l'année 1986 dans le domaine d'énergie : les fortes variations des prix des produits pétroliers, d'une part, et l'accident survenu à la centrale nucléaire de Tchernobyl, d'autre part. L'opinion des européens sur les questions énergétiques a évolué en fonction de ces événements, ce qui prouve qu'il existe bien une opinion publique européenne sur les problèmes d'énergie.

³³⁷ Guillerme, André. *Les temps de l'eau*, op. cit., p. 21.

mettre au service de l'homme³³⁸ ». L'énergie est perçue comme un domaine où l'action publique apparaît largement justifiée et dont les enjeux sont de nature politique. Cette reconnaissance assez large de l'intervention publique est bien mise en évidence depuis 1984. Mais l'acceptation par les citoyens européens d'une action de l'État est se confirme en 1987. Le thème de l'indépendance énergétique occupe une grande place dans la définition, par les européens, des orientations souhaitables d'une politique. Après l'indépendance énergétique, ce sont les préoccupations en matière d'environnement qui paraissent les plus importantes et, au début des années 1980, une majorité d'européens souhaitent que soient poussées les recherches visant à développer l'utilisation d'énergies nouvelles.

En 1986, les européens modifient leur hiérarchie des orientations de politique énergétique. Alors qu'en 1984 la plus grande partie d'entre eux pensent qu'il faut « dépendre le moins possible de l'étranger, même si cela vous coûte plus cher »³³⁹, l'orientation, en 1986, est l'énergie causant la moindre pollution. Les solutions tenues pour les moins polluantes, les énergies renouvelables et les économies énergétiques en général, sont beaucoup plus favorisées que les solutions semblant garantir une plus grande indépendance comme l'énergie nucléaire et la relance d'énergies traditionnelles. Or, un an plus tard, la tendance semble s'être une nouvelle fois renversée : dépendre le moins possible de l'étranger redevient le choix le plus fréquent des européens, même si la recherche d'une moindre pollution reste toujours citée par un grand nombre³⁴⁰. Cette évolution, constatée dans l'Europe prise dans son ensemble se retrouve dans la plupart des pays. Néanmoins, aux Pays-Bas, au Luxembourg, en Italie et en Allemagne, la recherche d'une moindre pollution reste la priorité la plus souvent choisie, même si elle recueille moins de réponses qu'en 1986³⁴¹.

³³⁸ Cité par Guillerme, André, *Bâtir la ville*, op. cit., p.& ».

³³⁹ *Rapports Eurobaromètre spéciaux* 32, 1/88, 176 p, pIII.

³⁴⁰ *Rapports Eurobaromètre spéciaux* 36. L'inquiétude des européens, face aux problèmes d'environnement, semble s'estomper légèrement par rapport à ce qu'elle était à la fin de 1986, à la suite des événements survenus cette année-la, sans avoir pour autant complètement disparu.

³⁴¹ L'opinion européenne et les questions énergétiques en 1991. Eurobaromètre, 57, Commission des Communautés Européennes, 111 p.

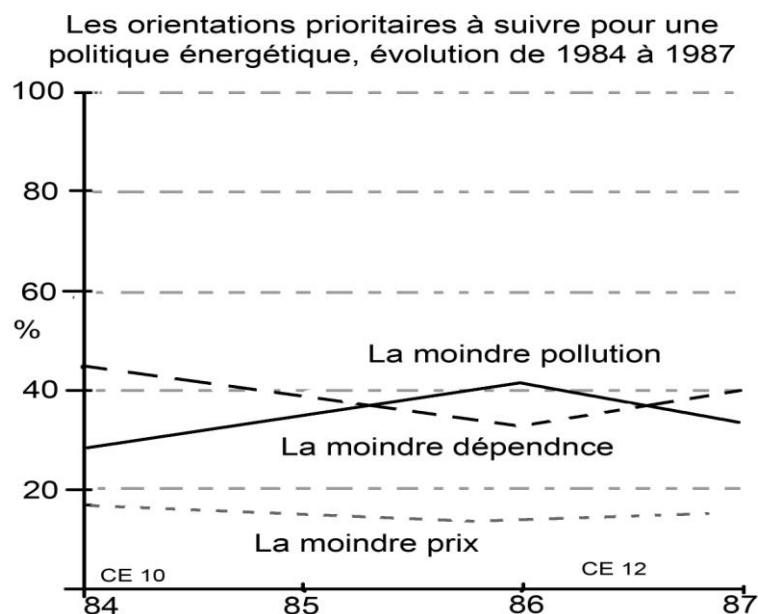


Figure 48: Les orientations prioritaires à suivre pour une politique. Évolution de 1984 à 1987. Source : Rapports Eurobaromètre spéciaux 36

Tableau 4 : Les qualités des différentes sources d'énergie. Source: L'opinion européenne et les questions énergétiques en 1991. Commission des Communautés Européennes.

En pensant maintenant à l'avenir des ressources énergétiques de (votre pays) dans les dix prochaines années, quelle source d'énergie vous parait la plus stable au point de vue du prix? Et laquelle vous parait offrir la meilleure sécurité d'approvisionnement? laquelle, enfin, vous semble présenter le moins de risques de pollution pour l'avenir?					
stabilité des pris					
	1984	1986	1987	1989	1991
les combustibles solides (charbon, lignite, tourbe)	17	16	15	12	13
le pétrole	7	8	7	8	10
le gaz naturel	25	25	28	27	26
l'énergie nucléaire	21	17	18	19	16
les énergies renouvelables	18	19	17	12	19
sans réponse	12	15	15	22	16
Total	100	100	100	100	100
sécurité d'approvisionnement					
	1984	1986	1987	1989	1991
les combustibles solides (charbon, lignite, tourbe)	17	16	15	12	11
le pétrole	10	10	9	10	12
le gaz naturel	23	21	24	24	24
l'énergie nucléaire	21	16	18	19	17
les énergies renouvelables	19	23	21	16	22
sans réponse	10	14	13	19	14
Total	100	100	100	100	100
moindre pollution					

	1984	1986	1987	1989	1991
les combustibles solides (charbon, lignite, tourbe)	9	7	8	7	4
le pétrole	3	2	2	2	2
le gaz naturel	18	15	16	21	12
l'énergie nucléaire	10	7	7	10	6
les énergies renouvelables	52	58	56	42	65
sans réponse	8	11	11	18	11
Total	100	100	100	100	100

La dépendance vis-à-vis de l'étranger et les risques de pollutions liées à la production d'énergie sont donc, pour les européens, les deux problèmes essentiels auxquels il faut faire face. En termes d'environnement, la quasi-totalité des européens se sentent fortement préoccupés par les problèmes environnementaux et ce, dans tous les États membres et dans toutes les couches de la population.

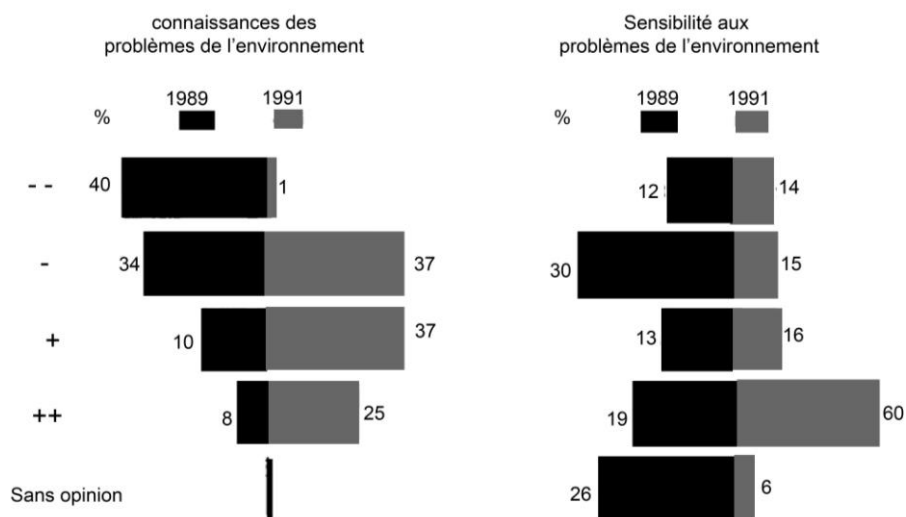


Figure 49: Sensibilité aux problèmes d'environnement, Source : L'opinion européenne et les questions énergétiques en 1991. Commission des Communautés Européennes, Rapports Eurobaromètre spéciaux 57.

La sensibilité au problème de l'environnement ait augmenté.

« Lorsqu'il apparaît que ce pourcentage des plus sensibles a augmenté de 19% à 50% au plan Européen et sur une période de seulement 2 ans, il faut le prendre en considération. D'après les chiffres, il est évident, que d'une part, il y a un changement d'opinion de plutôt non-sensibles (30% en 1989, 15% en 1991) à sensibles et même très sensibles. Mais d'autre part il y a un grand nombre de personnes (20%) qui, n'ayant pas répondu auparavant, maintenant répondent dans la même ligne qu'observé précédemment »³⁴².

³⁴² L'opinion européenne et les questions énergétiques en 1991. Commission des Communautés Européennes, Rapports Eurobaromètre spéciaux 57, 1991, p 53.

En ce qui concerne les causes présumées des principaux problèmes de ce type, on observe quelques associations bien spécifiques. L'effet de serre et la destruction des forêts sont davantage attribués à l'utilisation du charbon et du pétrole, au recours aux produits chimiques et/ou à des technologies énergétiques inefficaces et dépassées. Les pluies acides sont dues, pour plus de 50 % d'Européens, à l'utilisation de produits chimiques. Quant à la destruction de la couche d'ozone, elle est incriminée aux produits chimiques, mais aussi, et de plus en plus, au charbon et au pétrole. Cependant, on constate que le degré auquel nos interlocuteurs sont sensibilisés ou préoccupés par les problèmes environnementaux ne semble influencer en rien leur perception des avantages ou inconvénients des combustibles fossiles. Les énergies renouvelables sont, elles, plus appréciées, à tous les points de vue, par les Européens les plus sensibilisés aux problèmes d'environnement, qui sont aussi plus nombreux à s'opposer à toute énergie nucléaire³⁴³.

La disparité des mesures d'efficacité énergétique:

L'efficacité énergétique est un élément important de la politique énergétique française depuis les années 1970 : son approche compte parmi les plus complètes de l'Union européenne³⁴⁴. Elle accueille la première agence des économies d'énergie (AEE) dès 1974. L'agence a pour but d'économie d'énergie pour conseiller les consommateurs et les supporter par une subvention d'environ 400F/tep (soit 61 euros) par tonne équivalent pétrole (tep), d'un côté, et supporter les innovations économiques en énergie par les recherches et le développement de nouveaux procédés, de l'autre côté. L'agence renforce cette activité après la deuxième crise pétrolière en 1979. En 1982, l'Agence française pour la maîtrise de l'énergie (AFME) remplace l'AEE et le Commissariat à l'énergie solaire (COMES). Son but n'est plus seulement les économies d'énergie mais, plus largement, la maîtrise de l'énergie, l'efficacité énergétique et le développement des énergies renouvelables. Dans les années 1990, la politique de restrictions nuit à la dynamique globale du programme. Depuis 1993, l'ADEME³⁴⁵ (l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie) et la Compagnie Nationale d'Électricité EDF ont des programmes communs de gestion de la demande. L'ADEME dispose également de l'un des réseaux régionaux les plus efficaces de l'UE et d'un

³⁴³ Rapports Eurobaromètre spéciaux 57.

³⁴⁴ L'efficacité énergétique dans la Communauté européenne ...*Op. Cit.*, le 29.04.1998 COM, 1998.

programme d'information efficace du consommateur dans l'ensemble des secteurs d'utilisation finale³⁴⁶. En revanche, les politiques en faveur de l'efficacité énergétique ont essentiellement pour objet de soutenir les stratégies relatives au changement climatique et d'autres stratégies connexes en matière d'environnement, ainsi que de respecter les obligations de l'UE.

L'Allemagne consacre traditionnellement un effort important à l'amélioration de l'efficacité énergétique, au niveau fédéral comme au niveau des Länder. La DENA (Deutsche Energie-Agentur GmbH, Agence allemande de l'énergie) ne voit le jour qu'en 2000. La problématique énergétique est prise en compte dès le premier choc pétrolier avec la création de nombreuses agences de l'énergie à l'échelle des Länder, comme par exemple dans ceux de Berlin ou de Bade-Wurtemberg. Contrairement à l'Ademe, la DENA fonctionne sur le modèle d'une entreprise privée. Elle est donc redevable auprès de ses actionnaires et doit être rentable. Le capital de la DENA est détenu à 50% par l'État allemand et à 50 % par des banques³⁴⁷. Les politiques se composent de règlements et d'accords conclus sur une base volontaire, une nette préférence étant accordée aux mécanismes du marché. L'Allemagne est l'un des premiers pays de l'UE à exiger que la facturation des frais de chauffage central et de production d'eau chaude soit basée sur la consommation individuelle³⁴⁸. Il existe également un important service de consultation énergétique assuré par l'association de consommateurs AgV, qui fournit ses prestations dans plus de trois cent trente villes³⁴⁹. Le gouvernement a des accords volontaires avec une vingtaine d'associations d'industries. Beaucoup de Länder favorisent la gestion de la demande.

Un autre pays européen donnant à la question énergétique une importance particulière est les Pays-Bas. La politique énergétique néerlandaise accorde une priorité élevée à la fois à l'amélioration de l'efficacité énergétique et au développement d'une politique économique durable dans le domaine de l'énergie. Le troisième livre blanc sur la politique énergétique,

³⁴⁵ L'Ademe (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) voit le jour en 1991 : elle intègre l'AFME, l'ANRED (Agence nationale pour le recyclage des déchets) et l'AQA (Agence pour la qualité de l'air).

³⁴⁶ Depuis le début des années 1990, le projet européen ODYSSEE-MURE a permis de mettre en place deux outils nécessaires au suivi des politiques et mesures d'efficacité énergétique des États membres de l'UE et de la Norvège ; ODYSSEE : une base de données des indicateurs d'efficacité énergétique et d'émissions de CO₂ afin d'évaluer les tendances européennes par secteurs et usages ; MURE : une base de données des mesures et politiques d'utilisation rationnelle de l'énergie mises en place.

³⁴⁷ CHAPPOZ, Loïc. *Les politiques d'efficacité énergétique en France et en Allemagne : quand deux voisins empruntent des chemins différents*, Study n°04/13, Iddri, Paris, France, 2012, 36 p.

³⁴⁸ La cible énergie en Allemagne.

http://biohab.free.fr/BIOHAB/Niveau%20IV/Cible_energie/cible_energie GER.pdf vu le 05/06/2012.

<http://biohab.free.fr/>

³⁴⁹ L'efficacité énergétique ...Op, Cit., le 29.04.1998 COM, 1998.

publié en 1996, fixe un objectif d'amélioration de l'efficacité énergétique équivalant à un tiers de la consommation d'énergie dans les 25 prochaines années (un tiers d'amélioration entre 1995 et 2020, soit 1,7% par an)³⁵⁰. Les politiques en faveur de l'efficacité énergétique privilégient trois groupes d'utilisateurs finaux : l'industrie, le bâtiment et les transports. Les Pays-Bas sont des pionniers en matière d'accords volontaires dans tous les secteurs et assurent une variété de subventions pour appuyer les accords. Il existe également plusieurs taxes environnementales pour encourager l'efficacité énergétique. Le plan d'action de 1995 pour la construction durable recommande que les normes de rendement thermique soient revues en 1998 et 2000. Le gouvernement soutient activement la production combinée. Les compagnies d'électricité mettent en œuvre le plan d'action pour l'environnement (MAP) qui englobe un éventail de subventions et de programmes d'information relatifs à l'efficacité énergétique.

Au Royaume-Uni la politique énergétique est axée sur l'existence d'approvisionnements énergétiques sûrs, diversifiés et durables, fournis aux personnes et aux entreprises sous la forme qu'ils souhaitent et à des prix concurrentiels. Le gouvernement estime que cet objectif peut être atteint en permettant à des marchés de l'énergie concurrentiels d'opérer dans un environnement juridique stable. L'efficacité énergétique est un élément important de la politique énergétique britannique depuis les années 1970. L'« Energy Saving Trust » est mis en place pour encourager les investissements en matière d'efficacité énergétique. La loi de 1995 sur la conservation de l'énergie domestique impose à toutes les autorités locales chargées du logement de définir des mesures qui amélioreront l'efficacité énergétique dans les logements publics et privés. Le Royaume-Uni est à la pointe en matière d'élaboration d'un programme de bonnes pratiques, fournissant des informations techniques aux professionnels dans tous les secteurs. Le gouvernement a également un programme ambitieux pour améliorer sa propre consommation d'énergie³⁵¹.

³⁵⁰ livre blanc sur la politique énergétique, publié en 1996,

http://biohab.free.fr/BIOHAB/Niveau%20IV/Cible_energie/cible_energie_nl.pdf vu le 05/06/2012.

³⁵¹ L'efficacité énergétique ...*Op. Cit.*, le 29.04.1998 COM, 1998 ; la cible énergie en Grande Bretagne. http://biohab.free.fr/BIOHAB/Niveau%20IV/Cible_energie/cible_energie_gb.pdf vu le 05/06/2012;

Conclusion :

Alors que l'énergie, dès le début, est au cœur de la construction — mais pas de la constitution — européenne, avec le Traité instituant la 1951 CECA et les traités postérieurs³⁵², il ne mentionne pourtant pas le mot énergie³⁵³. Les traités successifs (comme l'Acte unique européen ainsi que les traités de Maastricht, d'Amsterdam et de Nice) n'apportent pas non plus de base juridique globale permettant d'aborder la question énergétique. Il a fallu attendre le Traité de Lisbonne³⁵⁴, qui offre une base juridique à cette politique, pour attirer à nouveau l'attention sur l'énergie, comme enjeu politique européen³⁵⁵.

Depuis 1984, nous constatons que l'attention sur la consommation énergétique varie selon les années et le coût de cette même énergie. La proportion de personnes ayant pris une ou plusieurs mesures pour économiser la consommation énergétique, est passée de 91 % en 1982 à 84 % en 1987³⁵⁶. Seuls les travaux d'isolation de la maison sont de plus en plus pratiqués, 47 % en 1987, alors que les autres moyens d'économie sont moins souvent mis en œuvre que par le passé. Une autre possibilité pour les européens pour réduire leur consommation passe par l'éclairage et le fonctionnement des appareils électriques. Les bâtiments représentent 40 % des besoins énergétiques de PUE. Le secteur de la construction possède à lui seul l'un des plus grands potentiels d'amélioration de l'efficacité énergétique et doit dès lors constituer un volet important de toute stratégie. Outre les composants et l'équipement installés, il existe d'autres aspects importants, comme la prise en compte du facteur énergétique dans la conception et l'utilisation des bâtiments, les nouveaux concepts de rénovation des bâtiments, la modernisation des équipements et l'analyse et le coût du cycle de vie. Au nombre des initiatives possibles au titre du programme SAVE figure, par exemple, le

³⁵² Le Traité Euratom de 1957, le Traité de Rome (Traité CEE de 1957) ; Traité Euratom - Traité instituant la Communauté européenne de l'énergie atomique, Rome, 25 mars 1957.

³⁵³ Le Traité CECA s'appliquant à près de 80 % du marché de l'énergie au début des années 50 étant donné le rôle prépondérant du charbon à l'époque, et le Traité Euratom à 100 % de la future énergie nucléaire à partir de la fin des années 50.

³⁵⁴ JO 2008/C 115.

³⁵⁵ « L'énergie est à présent explicitement reconnue, à l'article 4 de la Partie I du Traité sur le fonctionnement de l'Union européenne (TFUE), en tant que compétence partagée de l'Union. La Partie III, qui rassemble, amende et renumérote les règles du Traité CE affectant le secteur de l'énergie, n'a pas été modifiée en profondeur. Un titre séparé consacré à l'énergie (XXI) est désormais inclus. Il se compose d'un seul article (art. 194 du TFUE) spécifiant la façon dont la compétence doit être partagée entre l'Union et ses États membres ». ANDOURA, Sami. HANCHER, Leigh et VAN DER WOUDE, Marc. *Sur une proposition de Jacques DELORS, Vers une Communauté européenne de l'énergie : un projet politique, la Commission européenne, Notre Europe, juillet 2010* http://www.notre-europe.eu/media/Etud_Energie_fr.pdf

³⁵⁶ Rapports Eurobaromètre spéciaux 36,

développement d'outils simples pour aider les installateurs à concevoir des systèmes performants, la formation à l'utilisation de ces outils.

Ces initiatives doivent aller de paire avec des systèmes d'information fournissant au client final des informations claires et fiables sur les caractéristiques des systèmes énergétiques qui l'intéressent. D'autres mesures dans ce domaine concernent l'évaluation de la directive 93/76/CEE du Conseil³⁵⁷, qu'il convient de renforcer pour améliorer l'efficacité énergétique dans les bâtiments³⁵⁸. Il est important que les États membres évaluent, eux aussi, leurs normes nationales en matière d'efficacité énergétique dans les bâtiments, de manière à identifier d'éventuelles améliorations.

³⁵⁷ La directive 93/76/CEE du Conseil est à même d'améliorer sensiblement l'efficacité énergétique et de réduire les émissions de dioxyde de carbone en contribuant à éliminer un certain nombre d'entraves.

³⁵⁸ Le développement de normes européennes harmonisées conformément à la directive « produits de construction » (89/106/CEE) concernant les produits tels que l'isolation thermique, les fenêtres, les sources de chaleur, etc. peut conduire à l'adoption de normes et d'indications sous la forme d'informations sur les produits, concernant notamment leurs caractéristiques énergétiques et leurs propriétés de rétention de la chaleur.

Chapitre 5 : La politique française concernant l'économie d'énergie

Chapitre 5 : La politique française concernant l'économie d'énergie	165
L'énergie en France après 1973	167
Bilan énergétique en Ile-de-France :	170
économie d'énergie dans la construction après 1974 :	173
La réglementation thermique	174
Consommation du parc	177
Réglementation thermique et labels, moteurs pour maîtriser l'énergie et développer l'innovation :	181
La réglementation moteur de l'innovation	182
L'économie d'énergie dans les recherches architecturales	184
Conclusion :	189

En France, pendant la deuxième guerre mondiale, les pénuries de combustibles et d'énergie concernent tous les milieux et marquent les populations. Ainsi, au cours la seconde moitié de XXe siècle, l'Hexagone connaît trois phases principales dans sa consommation d'énergie. De 1946 à 1973, comme les autres pays européens, il connaît une période de forte croissance économique dite les « Trente Glorieuses » basée sur l'utilisation d'énergies fossiles abondantes et bon marché le développement d'un urbanisme « fonctionnel » qui conduit à la spécialisation des espaces publics, à l'idée de « zoning » par l'apparition de zones industrielles, de zones à urbaniser en priorité, de cités administratives. Ce type d'urbanisme est fondé sur le développement de transports individuels et collectifs et par conséquent, sur l'utilisation massive du pétrole pour l'industrie, le transport, l'agriculture et la construction.

La deuxième phase de la consommation énergétique de 1973 à 1986 se caractérise par une remise en cause du pétrole liée aux chocs pétroliers de 1973 et 1979-1980. Les actions publiques portent sur deux types d'économie d'énergie : les premières sont d'ordre comportemental (baisse des températures, heure d'été...) et incluent en fait tout ce qui ne peut être considéré explicitement comme du "technologique". Les deuxièmes sont d'ordre technologique (par exemple, isolation des murs et isolation des canalisations de chauffage) et sont considérées comme des économies d'énergie structurelles. Les actions menées sont diverses : information et sensibilisation des consommateurs, déductions fiscales, programme de recherche et développement, définition de labels de performances énergétiques et réglementations thermiques pour les logements neufs, aides au diagnostic thermique et à l'investissement.

La troisième phase « anticrise », de 1986 à 2000, se définit par une reprise modérée de la consommation totale. L'anticrise peut être expliquée par des changements structurels de l'activité économique (diminution du poids des industries lourdes, délocalisations industrielles...) ce qui constitue l'« effet de structure » et les efforts d'amélioration de

l'efficacité énergétique au sein de chaque secteur économique c'est-à-dire l'« effet d'efficacité énergétique »³⁵⁹.

Nous abordons les effets des chocs pétroliers en France, de 1973 à 2000, sur la construction, la politique française d'économie d'énergie et finalement le rôle des opérations expérimentales dans la sensibilisation des architectes aux questions d'économie de consommation énergétique. Ceci nous permettra de cerner la fragilité de l'économie française aux chocs pétroliers.

L'énergie en France après 1973

La France est pauvre en ressources énergétiques naturelles. Cette situation préoccupe les pouvoirs publics. Des bilans énergétiques sont systématiquement réalisés dès la première crise pétrolière. Ils montrent la répartition des sources énergétiques naturelles en France et la pénurie de ces sources. Le dispositif d'enquête du département « Aspirations et conditions de vie des Français » contribue régulièrement, depuis 1978, à cette réflexion, en particulier sur la question des opinions et des pratiques des Français en matière de consommation d'énergie³⁶⁰. La France, réagi aux chocs pétroliers de 1973 et 1979 politiques énergétiques guidées par une meilleure diversité d'origine géographique des importations de combustibles fossiles, particulièrement pour le pétrole et le gaz. Une meilleure diversité des mix énergétiques avec, un investissement massif dans le nucléaire civil. Un engagement d'actions en faveur de l'efficacité énergétique et des économies d'énergie³⁶¹.

Les données disponibles sur la consommation énergétique en France sont dépendantes des problématiques de la distribution qui distingue l'énergie primaire. Les statistiques concernent la quantité d'énergie produite ou achetée, de l'énergie finale enregistrée sur les compteurs des utilisateurs. Ces données sont établies aux niveaux national et régional. Elles sont divisées par secteur : industrie, transport, résidentiel-tertiaire, agriculture³⁶².

Au cours de la période 1973-2009, la structure de la consommation a fortement évolué. La part du charbon est passée de 15 % à 4 %, celle du pétrole de 68 % à 32 %, alors que la part

³⁵⁹ LAVERGNE, Richard. « La politique énergétique française depuis trente ans ». Constructif, N° 9 , Novembre 2009. http://www.constructif.fr/bibliotheque/2004-11/perspectives-et-enjeux-des-energies-renouvelables.html?item_id=2580, vu le 10/04/2012.

³⁶⁰ Le 1^{er} rapport du Département « Aspirations et conditions de vie des Français » sur l'énergie date de 1980

³⁶¹ LAVERGNE, Richard. ... *Op., cit.*

³⁶² DUJIN, Anne. POQUET, Guy. MARESCA, Bruno. La maîtrise des consommations dans les semaines de l'eau et de l'énergie. In : *Cahier de recherche*, n° 237, Novembre, 2007, p 14. <http://www.credoc.fr/pdf/Rech/C237.pdf>, consulté le 04/10/2012.

du gaz était multipliée par 2 (7 % à 15 %), et celle de l'électricité par 10 (4 % à 43 %) ³⁶³. Nous pouvons expliquer ces résultats de l'augmentation de prix de pétrole et la volonté de l'état Français de renforcer le développement d'une offre nationale d'énergie.

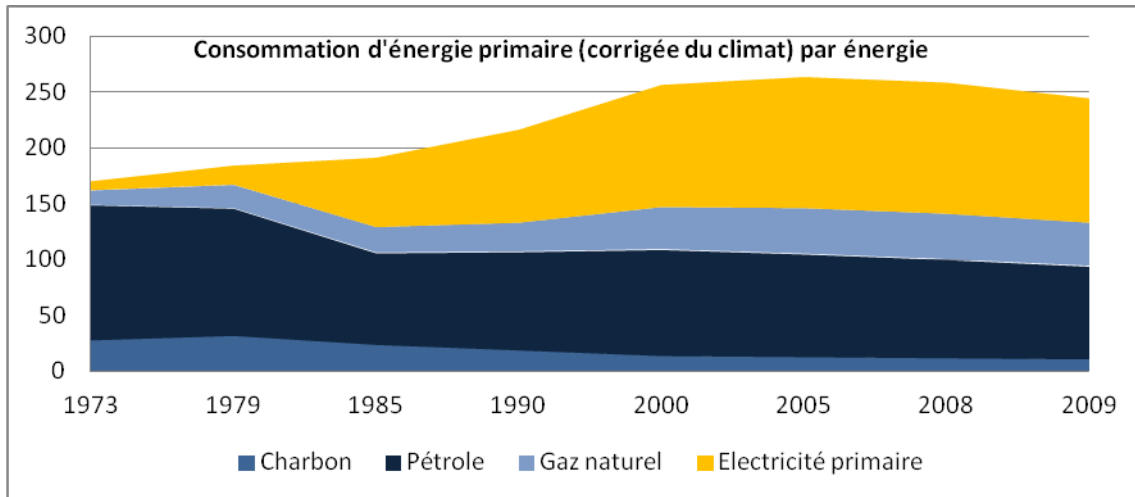


Figure 50 Consommation d'énergie primaire (corrigée du climat) par énergie. Source : SOeS, bilan de l'énergie.

Les seules énergies à être industriellement envisageables en France sont l'électronucléaire et les énergies renouvelables. Dans les années 1950, la France lance un programme de construction des réacteurs, grâce auquel elle dispose aujourd'hui de 58 réacteurs pour une puissance installée de 63 GW, soit le deuxième parc au monde en taille après celui des États-Unis. La principale production d'électricité en France vient alors de l'énergie nucléaire (78 %) et (12 %) vient de l'énergie hydraulique. Autre que l'hydraulique, l'effort des pouvoirs publics en faveur des énergies renouvelables s'est porté sur le bois (9,3 Mtep en 2003), les déchets urbains solides (2,1 Mtep, en croissance), l'éolien (0,03 Mtep, soit 342 GWh, en croissance rapide), les biocarburants (0,4 Mtep) et de nombreuses autres technologies prometteuses dont le développement devrait s'accélérer dans les années à venir ³⁶⁴.

³⁶³ Les statistiques sont pris de : Repères, Chiffres clés de l'énergie, service de l'observation et des statistiques, Commissariat Général au Développement Durable, Octobre 2010, P9. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Rep-10-10.pdf>, consulté le 04/10/2012.

³⁶⁴ *Ibid.*

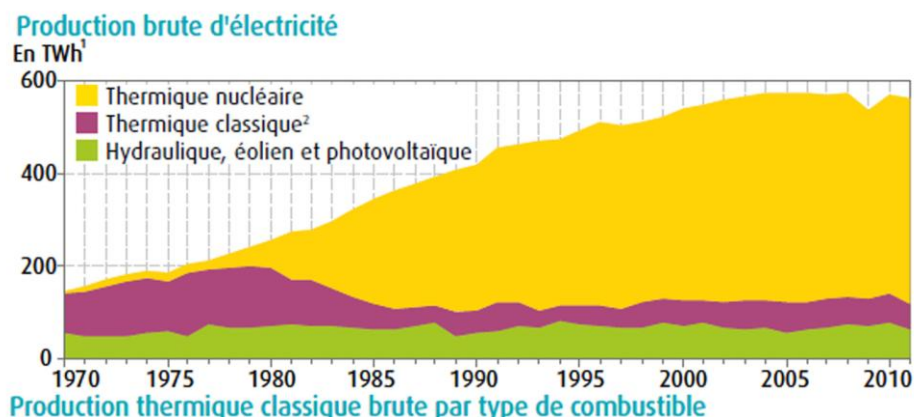


Figure 51 Source : www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr

Ainsi, les résultats de l'évolution de la consommation énergétiques finale, montrent que « au cours de la période 1973-2009), la part de l'industrie [...] a fortement diminué (36% à 23%), celle du secteur résidentiel-tertiaire est restée stable (42% à 43%), alors que le secteur des transports a crû de 19% à 31% »³⁶⁵.

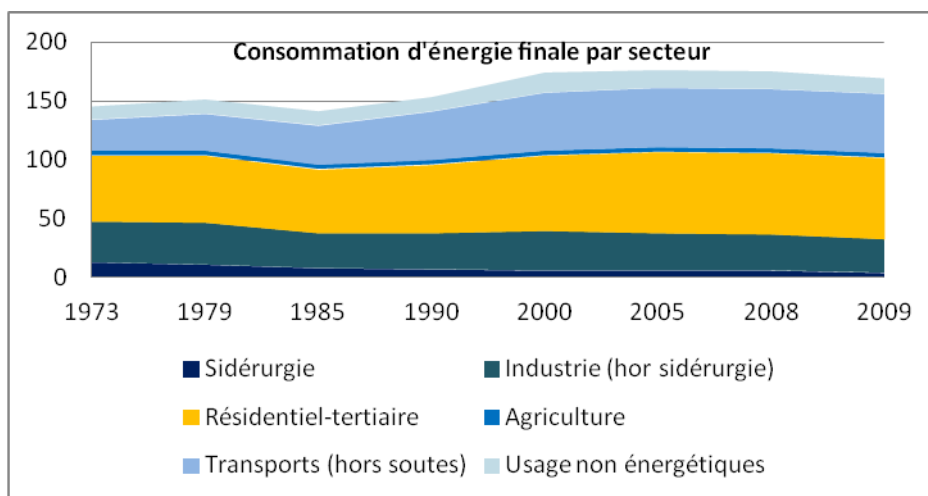


Figure 52: Consommation d'énergie finale par secteur. Source : SOeS, bilan de l'énergie.

En revanche nous constatons que la consommation de pétrole dans le secteur tertiaire et résidentiel diminue dès 1975 progressivement laissant la place à l'énergie électrique et le gaz naturelle³⁶⁶.

³⁶⁵ Ibid., p10.

³⁶⁶ Consommation finale d'énergie du secteur résidentiel-tertiaire, Données corrigées des variations climatiques, en million de tep. Source : Service de l'Observation et des Statistiques, bilan de l'énergie 2011.

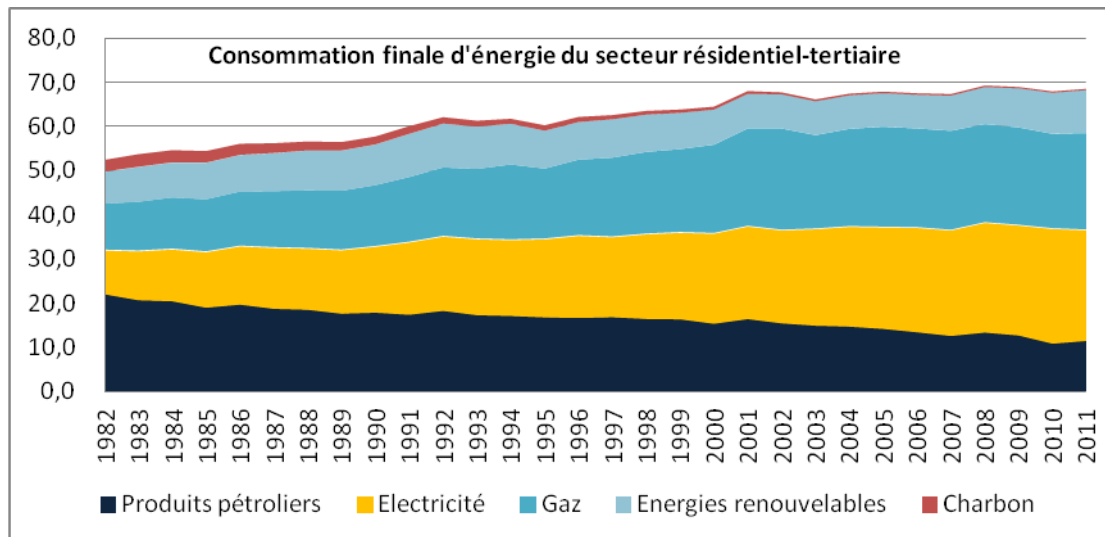


Figure 53: Consommation finale d'énergie du secteur résidentiel-tertiaire, Données corrigées des variations climatiques, en million de tep. Source : Service de l'Observation et des Statistiques, bilan de l'énergie 2011.

L'augmentation massive de prix d'énergie et l'élévation de la demande énergétique, essentielle pour la vie moderne, conduit la France, comme d'autres pays industrialisés à faire des efforts pour réduire la consommation énergétique dans tous les secteurs, y compris le secteur de bâtiment.

Bilan énergétique en Ile-de-France :

En Île-de-France, l'indice³⁶⁷ de croissance et hausse des prix des énergies, de base de 100 en 1970, atteint en juillet 1981 la valeur de (286,3). Cette hausse est nettement plus forte pour le poste « combustible et énergie » qui subit deux chocs pétroliers en 1974, 1979 : (416,2). Mais globalement ce sont les services qui augmentent le plus : (296,3), alors que la hausse est plus modérée pour l'alimentation et les produits manufacturés. Parallèlement l'importance relative des produits s'est profondément modifiée. La part de l'alimentation baisse au profit des produits manufacturés et plus particulièrement des combustibles et de

³⁶⁷ Selon l'Institut national de la statistique et des études économiques, on appelle indice élémentaire le rapport (en général multiplié par 100) de deux valeurs d'une même grandeur simple, mesurées dans deux situations distinctes. La situation considérée au dénominateur est dite situation de base ou de référence. Les indices synthétiques sont des moyennes d'indices élémentaires relatifs à des phénomènes de même nature : variation de prix, de production, de salaires, d'exportations, etc. *Tableaux économiques de l'Ile-de-France*. 1982. Institut national de la statistique et des études économiques. Direction régionale (France).

l'énergie. Ceux-ci en 1970 représentent 5,2% des achats des ménages et en 1982 10,8% de leur budget. En 1980, la hausse des prix s'est établie à 13,8%. L'énergie connu une augmentation de 25,1%³⁶⁸.

Depuis 1966, la France publie une série de publications annuelles sous le titre « Statistiques et indicateurs des régions françaises » (SIRF), ces publications présentent les résultats les plus caractéristiques de la situation démographique, économique et sociale des régions. Nous avons analysé les données concernant les bilans énergétiques en Île-de-France. Ces données concernent la production de l'énergie (combustible, gaz, électrique et pétrolier) et la consommation de celle-ci. Dans ces statistiques, la production énergétique retenue est disponible pour toute utilisation, y compris le passage à une autre forme d'énergie. Ainsi la houille sera-t-elle transformée partiellement en électricité thermique, cependant que le pétrole brut sera traité dans les raffineries³⁶⁹. La consommation retenue ne comprend que les utilisations directes, industrielles et domestiques, à l'exclusion de la transformation en une autre forme d'énergie. Les résultats concernant la consommation d'électricité des foyers domestiques et de la petite industrie. Jusqu'en 1968, n'était prise en compte que la consommation « basse tension » concernant les usages professionnels (commerce et divers), l'éclairage public et les services publics et communaux. Depuis 1969, les consommations haute tension des commerces et prestations de services, des administrations, des services publics non industriels et divers, sont incorporés dans ce secteur. Nous avons utilisé le MtEP comme unité pour la comparaison de résultats. Sachant que :

Coefficients de conversion des unités en tonne équivalent pétrole (tEP)

Combustibles minéraux solides.....	1 tEC = 2/3 tEP
Produit pétroliers	1 t = 1 tEP
Gaz primaires (Grisou, gaz naturel, gaz de raffinerie)	10 ³ thermies = 0,10 tEP
Électricité hydraulique, nucléaire, thermique	10 ³ kWh = 2/9 tEP ³⁷⁰

³⁶⁸ Ibid., « L'économie régionale en 1980 : population, emploi, comptes ». *Les collections de l'INSEE*, volume R 31, Avril 1978.

³⁶⁹ Statistiques et indicateurs des régions françaises 1974, 1975,.....

³⁷⁰ Le diagramme présent les statistique réalisé dans : Statistiques et indicateurs des régions françaises, annexe au projet de loi de finances pour 1989 : régionalisation du budget d'équipement et aménagement du territoire / Ministère de l'économie, des finances et du budget, Institut national de la statistique et des études économiques -INSEE (Paris)-1978

Le diagramme en dessous présent l'évolution de la consommation de l'énergie finale en (MtEP)³⁷¹ :

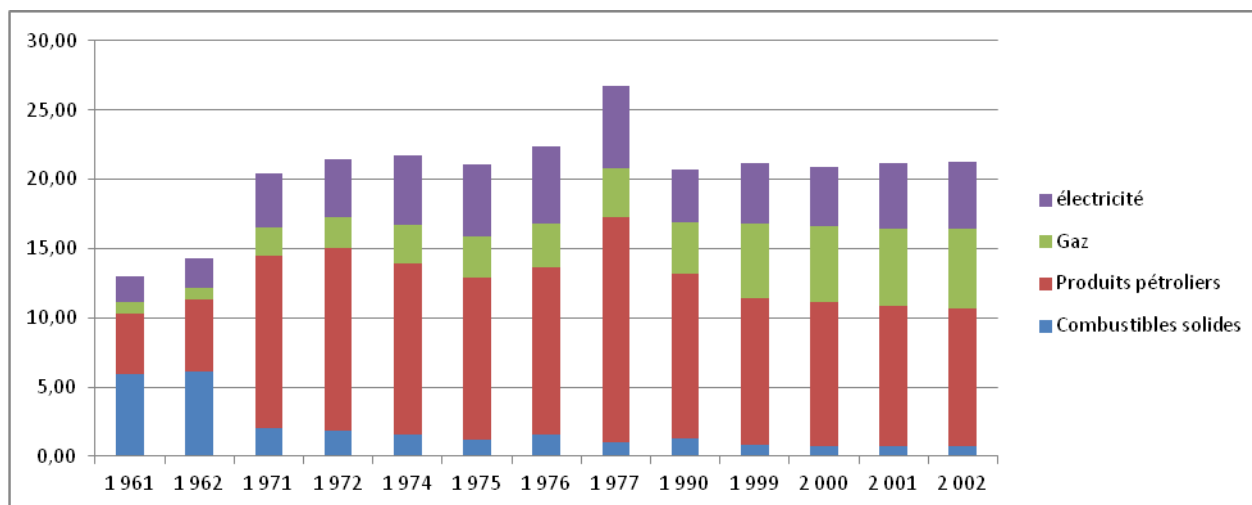


Figure 54: Évolution de la consommation énergétique finale (en Mtep), Source: Statistiques et indicateurs des régions françaises.

Les statistiques montrent également le développement de consommation de l'électricité et du gaz, nettement plus élevé que la consommation de fuel et d'oil domestique.

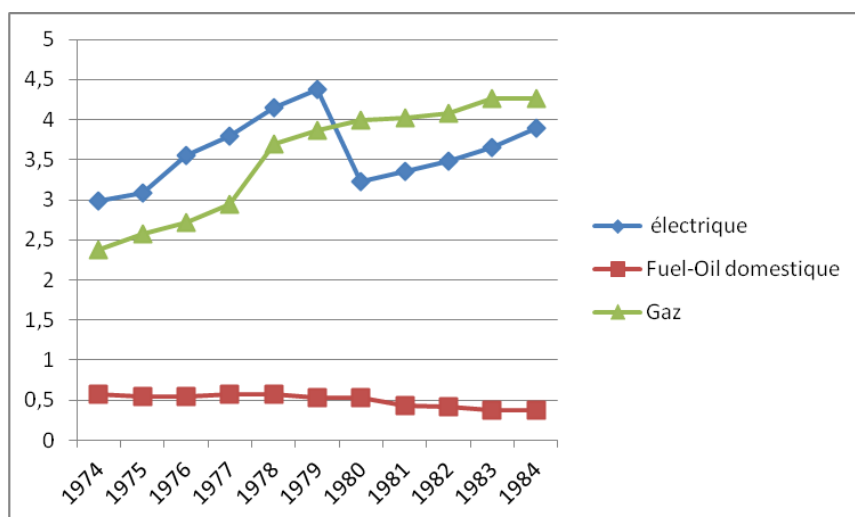


Figure 55 : Consommation d'énergie : secteur résidentiel et tertiaire: Région parisienne (MtEP)

³⁷¹ Statistiques et indicateurs des régions françaises des années 1974, 1975, 1976, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1989, <http://gallica.bnf.fr> ; Tableau de bord de l'énergie en Île de France : évolution 1990/2002, des consommations et productions d'énergie et des émissions de CO² associées, http://www.areneidf.org/fr/Tableau_de_bord_de_l_energie_en_Ile_de_France-262.html.

économie d'énergie dans la construction après 1974 :

Depuis 1946, l'État veut contrôler le domaine de l'énergie conformément au programme du Conseil national de la résistance adopté le 15 mars 1944 : « le retour à la nation des grands moyens de production monopolisée, fruits du travail commun, des sources d'énergie, des richesses du sous-sol, des compagnies d'assurances et des grandes banques ». Cette volonté se traduit par la *loi n° 46-628 du 08 avril 1946* concernant la nationalisation de l'électricité et du charbon et encourager les recherches pour une énergie nationale par la création de barrages hydroélectriques sur la Rhône³⁷² et le développement de la recherche nucléaire³⁷³. Dans les bâtiments, l'État impose pour la première fois une instruction technique sur le choix de l'énergie thermique utilisée dans le chauffage des bâtiments par le *décret n° 49-1249 du 16 septembre 1949*. Dans les années 1950, l'État élargit le secteur des « énergies nouvelles » comme le nucléaire (à des fins militaires d'abord) et encourage l'utilisation de l'énergie électrique dans les logements collectifs par des aide financier comme dans le décret n° 55-326 du 29 mars 1955 relatif aux frais de remboursement des colonnes montantes d'électricité dans les immeubles d'habitation collective.

Après la crise pétrolière en 1974, l'État intervient sur la demande d'énergie en limitant la température des locaux d'habitation à 20°C de moyenne entre les différentes pièces d'un logement³⁷⁴ et limiter la température de chauffage des locaux³⁷⁵. Cette même année, l'État, pour la première fois, promulgue la loi relative aux économies d'énergie, *74-908 du 29 octobre 1974*³⁷⁶. Elle propose également des aides fiscales sur l'impôt pour encourager les particuliers à investir dans des travaux d'économie d'énergie³⁷⁷. En 1978, des déductions fiscales sont mises en place en vue d'économiser l'énergie destinée au chauffage pour le paiement de l'impôt sur le revenu³⁷⁸.

³⁷² Décret du 22 février 1947 concernant l'aménagement de la chute de Donzere-Mondragon sur le Rhône (Ardèche, Drome, Gard, Vaucluse).

³⁷³ Loi n° 47-1497 du 13 août 1974 qui concerne l'inscription des dépenses du commissariat à l'énergie atomique (CEA) au budget de l'État.

³⁷⁴ Décret n° 74-1025 du 3 décembre 1974.

³⁷⁵ JO du 23 janvier 1975, p 1030.

³⁷⁶ Loi n° 74-908 du 29 octobre 1974 aux économies d'énergie, In : *Journal officiel de la république français*, 31 octobre 1974. 11083.

³⁷⁷ Loi de finances n° 74-1129 du 30 décembre 1974 ; loi de finances pour 1975 (article 8) déductions opérées sur le revenu global.

³⁷⁸ Nous comptons également l'Arrêté du 10 novembre 1982 caractéristiques techniques et prix des logements neufs en accession à la propriété finances au moyen des prêts aidés par l'État, JO du 19 novembre 1982 p 3473 ; Arrêté du 17 avril 1990 contient des nouvelles réductions d'impôt pour travaux économies d'énergie, JO n° 97 du 25 avril 1990.

La réglementation thermique

Jusqu'à la première crise pétrolière, les réglementations concernant le chauffage et l'isolation dans les bâtiments sont peu nombreuses et relatifs surtout aux problèmes de l'humidité et la ventilation. L'ingénieur des Ponts et Chaussées André Bouhomme montre dans *Isolation thermique des bâtiments* ces règles. Il rappelle que c'est en

« 1953 que l'on a commencé à se préoccuper en France, au plan de leurs conséquences pratiques sur les modes de construction, des questions d'isolation thermique des bâtiments en les associant directement dès cette époque au problème des condensations d'humidité sur les parois intérieures qui était alors au premier plan des préoccupations »³⁷⁹.

Dès 1958, les connaissances acquises en d'hygrothermique et ventilation rendent nécessaire la refonte des règlements officiels³⁸⁰. Le document technique unifié (DTU) thermique, dont la rédaction de base date de juin 1963³⁸¹, est alors très rapidement modifié. Il est connu depuis lors sous le nom de « Règles Th³⁸² » (Règles de calcul thermiques). La nouvelle réglementation se place dans le cadre de la loi du 29 octobre 1974 relative aux économies d'énergie. L'exigence de température intérieure est alors reformulée : la température de 18°C doit pouvoir être atteinte moyennant une limitation des déperditions thermiques en progrès de 25 % par rapport aux pratiques du moment. L'article 5 de cette loi consiste de modification dans l'article 92 du code de l'urbanisme et de l'habitation. Ceci est complété comme suit :

« [...], 1° Les règles de construction et d'aménagement applicables aux locaux de toute nature quant à leurs caractéristiques d'isolation thermique et les catégories de locaux qui seront soumis en tout ou partie aux dispositions du présent alinéa ; 2° les caractères définissant les normes d'équipement, de fonctionnement et de contrôle des installations destinés à en assurer le chauffage ou le conditionnement d'air et les catégories d'installations qui seront soumises en tout ou partie aux dispositions du présent alinéa »³⁸³.

Le décret n° 74-30 du 10 avril 1974 ainsi que l'arrêté du 10 avril 1974, modifient profondément le D.T.U. de 1963. Nous citons par exemple, l'augmentation des exigences d'isolation et l'introduction d'un titre III consacré au calcul du coefficient G des logements et autres locaux d'habitation. Dans ce décret :

« Le calcul du coefficient G d'un logement se fait en comptant d'une part les déperditions par transmission à travers les parois en contact avec l'extérieur, les vides

³⁷⁹ BOUHOMME André, *Isolation thermique des bâtiments*, France : Moniteur, 1978, p 13.

³⁸⁰ *Ibid*, p 24.

³⁸¹ *Ibid*.

³⁸² Revues et modifiées en 1975, 1977, 1980, 1981, 1982, 1985, 1988, 1989, 1991, 1993 et 1997

³⁸³ *Ibid*.

sanitaires, le sol et les locaux non chauffés, d'autre part les déperditions par renouvellement d'air, [...] »³⁸⁴

Il faut attendre jusqu'à 1977 pour que le D.T.U. traite également un « coefficient G1 des bâtiments autres que les bâtiments d'habitation »³⁸⁵.

En 1979, l'histoire se répète et le deuxième choc pétrolier, dû à la guerre Iran-Iraq, finit rapidement à un renforcement des mesures en faveur des économies d'énergie³⁸⁶. Dans le domaine du bâti, la RT 1982³⁸⁷ vise un nouveau gain de 20% sur la consommation énergétique par rapport à la précédente RT. Un nouveau coefficient B (Besoins) est utilisé pour déterminer les besoins en chauffage en watt/m³ habitable. Dans le cadre de cette RT, le pouvoir publics lance des labels « Haute Performance Énergétique » (HPE) en 1980 et des labels HPE « Solaires » en 1983. ces ensembles de normes et de prescriptions réglementaires sont établis entre divers acteurs du bâtiment, de l'environnement, des services publics de l'énergie comme l'EDF, PUCA, ADEME, CSTB, FNB). C'est une démarche qualitative qui intègre toutes les activités liées à la conception, la construction, le fonctionnement et l'entretien d'un bâtiment (logement, bâtiment public, tertiaire ou industriel). Ces labels proposent quatre niveaux de performances, pour différencier les efforts d'amélioration des isolations et des équipements de ventilation, de chauffage ou de production d'eau chaude sanitaire, dans le secteur résidentiel.

Dans la réglementation thermique, nous appelons bâtiment tertiaire l'ensemble des bâtiments de : commerce, bureaux, enseignement ; santé, action sociale ; habitats communautaires ; sport, loisirs, cafés hôtels restaurants (ensemble appelé « CAHORE ») Ce secteur constitue un ensemble complexe à forte variabilité dans les usages, l'utilisation de l'énergie, les modes de gestion, et de consommation. En 1990, on estime que cet ensemble de bâtiments représente chaque année, en construction neuve, la surface de 150 000 « équivalents logements ». Au total, la consommation énergétique de ce parc immobilier – neuf et ancien confondus - est estimée aux environs de 22 millions de tonnes équivalents pétrole (tep)³⁸⁸. En

³⁸⁴ Arrêté du 10 avril 1974 relatif à l'isolation thermique et au réglage automatique des installations de chauffage dans les bâtiments d'habitation. Consulter 22 juin 2013.

³⁸⁵ BOUHOMME André, *Isolation thermique des bâtiments*, France : Moniteur, 1978, 726 p. Arrêté du 25 juillet 1977 relatif à l'isolation thermique des bâtiments à usage agricole. Consulter 22 juin 2013.

³⁸⁶

³⁸⁷ Nouvelle (la) réglementation thermique 1982, In : *Le Moniteur des Travaux publics et du Bâtiment*, n° 23, 7 juin, 1982, P.79-80. Nouvelle (la) réglementation thermique, In : *CSTB magazine*, n° 3, fév, 1982, pp.2-13.

³⁸⁸ Quelles solutions pour le tertiaire ? , In : *Les Cahiers Techniques du Bâtiment*, n° 114 Février 1990, P 65

2001, selon le rapport d'Aulagnier S., Couturier B., Greffier T., Perrin J.F, ce secteur regroupe en France une surface de 815 millions de m², dont 140 millions de m² pour les bâtiments de l'État³⁸⁹. Le tableau suivant donne la répartition des surfaces par branche.

Tableau 5: Répartition des bâtiments tertiaires par branches, année 2001. Source : CEREN, 2001.

Branche	Milliers de m ²	%
Commerces	188 303	23,1 %
Bureaux	172 786	21,2%
Enseignement	166 391	20,4%
Café hôtel restaurants	54 256	6,7%
Habitat communautaire	53 521	6,6%
Santé	93 920	11,5%
Sport	61 073	7,5%
Commerces	188 303	23,1%
Transports	24 341	3%
Total	814 591	100%

Les bâtiments de commerce, bureaux et enseignement présentent près des deux tiers de la surface. Le taux de renouvellement du parc des bâtiments tertiaires est, en France, de 1,8 % sur les années 2000 et 2001, plus élevé que celui du résidentiel à 1 %³⁹⁰, mais il reste à un niveau relativement faible, en particulier au regard de sa vétusté. La proportion de bâtiments tertiaires construits avant 1975 est de 3/4 (2/3 pour le résidentiel en comparaison)³⁹¹. En termes de patrimoine et de surface, en 2010, la moitié des bâtiments en France sont encore des bâtiments construits avant le choc pétrolier de 1973 et représenteront les deux tiers des consommations³⁹². La vie d'un bâtiment commence de la phase de conception et programmation jusqu'à sa réalisation puis sa fonction. Nous abordons, par la suite, chaque phase vis-à-vis des enjeux environnementaux, sociaux et économiques du secteur du bâtiment tertiaire. Mais nous allons d'abord, parler de la consommation énergétique de

³⁸⁹ AULAGINER S., COUTURIER B., GREFFIER T., PERRIN J.F., Bâtiment et effet de serre, le chantier de l'isolation dans les bâtiments existants, Rapport de l'Écoles Nationale des Ponts et Chaussées, 2005, 120. http://www.enpc.fr/fr/formations/ecole_virt/trav-eleves/cc/cc0405/batiment.doc.

³⁹⁰ STRATÉGIE UTILISATION RATIONNELLE DE L'ÉNERGIE CHAPITRE II : LES BÂTIMENTS, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, version Juin 2005.

³⁹¹ ROSENSTEIN F., Les enjeux de l'efficacité énergétique en France, ADEME, 2005, présentation. <http://www.energy-base.org/fileadmin/media/base/downloads/Energieliefer-Contracting/>

³⁹² NAIZOT F., *Les changements d'occupation des sols de 1990 à 2000 : plus d'artificiel, moins de prairies et de bocages*, Ifen, 2005, 4 p. <http://www.ifen.fr/publications/DE/PDF/de101.pdf>

Consommation du parc

Les consommations énergétiques sont le premier grand poste d'impacts environnementaux majeurs. Nous développons ici la situation de consommation énergétique du parc tertiaire. En 1990, Le chauffage représente 44 % de consommation énergétique dans le secteur tertiaire. Les autres charges importantes sont, avec des ratios très différents suivants les types de bâtiment : la ventilation, l'éclairage, l'eau chaud sanitaire, la cuisine, la production de froid. Or, jusqu'à 1988, « les bâtiments sont envisagés uniquement sous l'angle du confort thermique des personnes »³⁹³. Les règles sont relatives à quatre domaines : l'isolation thermique, la régulation et la programmation du chauffage, la ventilation et la climatisation par machine frigorifique³⁹⁴. Pour l'ensemble du secteur tertiaire, l'usage chauffage représente encore, comme dans le résidentiel, le premier poste de consommation avec 54 % de la consommation totale. Le second poste recouvre les usages spécifiques de l'électricité (26 %) ³⁹⁵.

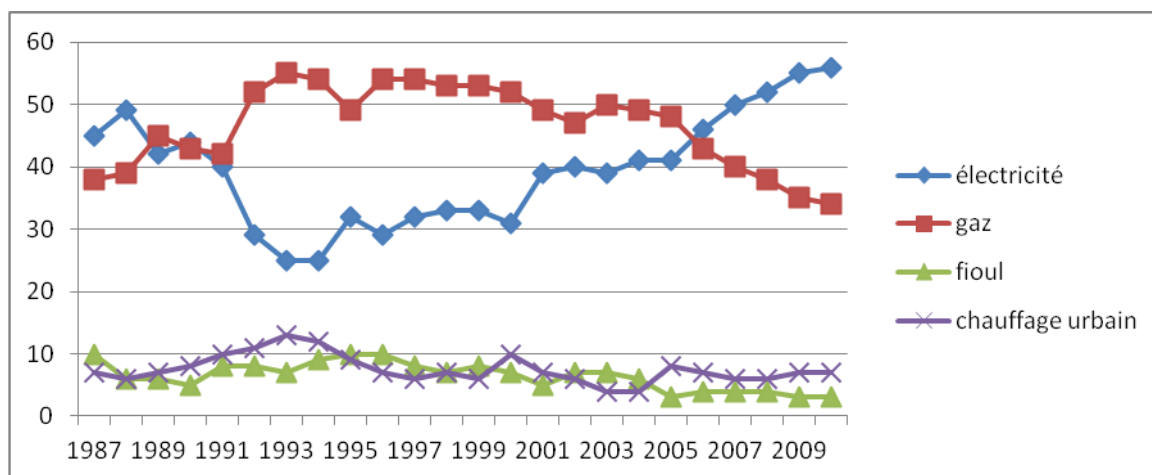


Figure 56: Évolution des parts de marché des énergies dans le tertiaire neuf, Source CEREN

³⁹³ *ibid*, p65.

³⁹⁴ Quelles solutions pour le tertiaire ?, In : *Les Cahiers Techniques du Bâtiment*, n° 114 Février 1990, P 65.

³⁹⁵ STRATÉGIE UTILISATION RATIONNELLE DE L'ÉNERGIE CHAPITRE II : LES BÂTIMENTS, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, version Juin 2005.

Tableau 6: Tertiaire : consommations énergétiques finales par usages en 2001 Source CEREN-Climat normal, STRATÉGIE UTILISATION RATIONNELLE DE L'ÉNERGIE, ADEME.

Branches	Consommations d'énergie (TWh)					
	Chauffage	ECS	Cuisson	Electricité spécifique	Climatisation	Total
Commerces	22,2	2,9	1,1	20,5	2,9	49,7
Bureaux	28,5	1,4	0,8	16,3	4,2	51,2
Enseignement	19,9	2,4	1,6	2,3	0,3	26,6
Santé, action sociale	14,9	3,7	1,2	5,3	1	26,6
Sports, loisirs	9,1	3,8	0,4	2,9	0,8	17
CAHORE	9,8	2,6	5,9	3,3	0,9	22,6
Habitat communautaire	7	2,1	1,3	1,9	0,1	12,3
Transports	4	0,5	0,2	3,8	0,1	8,7
Total	115,4	19,4	12,7	56,3	10,3	214,1
Parts en %	54%	9%	6%	26%	5%	100

En effet, du fait de services et de régimes d'occupation des bâtiments très diversifiés selon les branches, les consommations par usage peuvent varier fortement selon la nature de l'activité. Ainsi, par exemple, la part du chauffage dans la consommation totale ne représente que 43 % pour la branche CAHORE et 45 % pour la branche Commerces alors qu'elle atteint 56 % dans les bureaux, 57 % dans le secteur de la santé et culmine à 75 % dans les locaux d'enseignement³⁹⁶.

Conçu pour ces fonctions spécifiques, ainsi que, pour protéger les personnes et les biens des contraintes et aléas climatiques extérieurs, le bâtiment public voit ses fonctions s'élargir au fur et à mesure de son évolution dans le temps. En France, les règles définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions sont d'actualité depuis 1965, la réglementation acoustique date de 1969 et la première réglementation thermique est née en 1974.

La première réglementation thermique pour le tertiaire paraît en 1976 qui est largement modifiée et complétée en 1988. Elle intègre à cette date la climatisation dans les bâtiments tertiaires. Des débats sont faits dans la deuxième moitié de s années 1980³⁹⁷.

³⁹⁶ *ibid.*

³⁹⁷ Nous citons par exemple, un réunion-débat organisée, dans le cadre d'interclima, par le comité français de l'électricité (CFE), Uniclina et Cegibat, en association avec le Centre Scientifique et Technique de Bâtiment (CSTB) et les Cahiers Techniques du Bâtiment. Les Cahiers Techniques du Bâtiment, n° 114 Février 1990, pp 65-74.

En ce qui concerne la ventilation la réglementation de 1988, la réglementation garde les prescriptions de 1976. Mais elles sont complétées afin d'atteindre l'objectif des Pouvoirs publics d'économiser le quart de la consommation par rapport à 1976³⁹⁸. Les nouvelles règles de 1988 concernent les systèmes de ventilation naturelle ou mécanique³⁹⁹.

La troisième réglementation thermique apparaît en 1988 (RT 1988), avec deux ans de retard de la date prévue en 1985. Appliqué aux bâtiments résidentiels et non-résidentiels, elle introduit un nouveau coefficient C qui permet un calcul théorique basé sur l'ensemble des besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire (ECS) en tenant compte des rendements des équipements. Pour atteindre l'objectif fixé, il est possible d'arbitrer entre l'installation d'équipements bénéficiant de bons rendements ou une isolation renforcée. Par ailleurs, La RT du secteur Tertiaire est renforcée, le coefficient G1 subsiste avec des exigences sur la régulation, la programmation, la ventilation, la climatisation et le comptage énergétique.

Dans les années 1990, la situation n'est plus la même. Les factures environnementales s'ajoutent aux autres justifications afin de renforcer l'économie d'énergie. Suite des travaux de la Convention cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques signée en juin 1992 au sommet de Rio⁴⁰⁰, le pouvoir public décide de renforcer à nouveau la réglementation thermique. Le Protocole de Kyoto, établi en novembre 1997, répartit l'effort entre les pays signataires et les objectifs à atteindre à l'horizon 2010. La France qui ne produit que 1,5 tonnes d'équivalent carbone (tec) par habitant, contre 2,3 en moyenne dans l'union européenne⁴⁰¹, grâce à son parc de centrales nucléaires, répond aux exigences sur le maintien de ses émissions de gaz à effet de serre au niveau de 1990.

Ensuite, la RT 2000⁴⁰² concerne les constructions neuves des secteurs résidentiel et non résidentiel (bureaux, hôpitaux, écoles, salles de sport, etc.). Ses exigences sont en progrès de 10% pour l'habitat et de près de 25% pour le non résidentiel par rapport à la RTU

³⁹⁸ Les mesures sont complétées par quatre autres dispositions de l'humidité, la limitation des débits spécifiques, la limitation des débits supplémentaires, et le comptage de l'énergie consommée.

³⁹⁹ Sauf dans les bâtiments sportifs où la ventilation mécanique est la seule admise.

⁴⁰⁰ 176 États se sont accordés sur la nécessité de prendre des dispositions à l'échelle de la planète pour éviter l'accumulation de gaz à effets de serre dont les effets combinés équivalent aujourd'hui à une augmentation de 50% de la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère par rapport à l'ère préindustrielle.

⁴⁰¹ Chiffres clés de l'énergie Édition 2012, In: *la Commissariat général au développement durable*, www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr

⁴⁰² Décret n° 2000-1153 du 29 novembre 2000 relatif aux caractéristiques thermiques des constructions modifiant le code de la construction et de l'habitation et pris pour l'application de la loi n° 96-1236 du 30

antérieure. Elle porte sur la totalité des consommations d'énergie – de chauffage, de consommation d'eau chaude sanitaire, de climatisation et même d'éclairage dans le secteur non résidentiel. Elle introduit une exigence de confort d'été sous la forme d'une température intérieure maximale. Les progrès de cette réglementation sont réalisés par le Centre scientifique et technique du bâtiment en concertation avec les professions concernées. La réglementation intègre donc une seule et même méthode de calcul des consommations d'énergie pour tous les bâtiments. Les bureaux d'études disposent des logiciels correspondants permettant à la fois de vérifier le respect des exigences réglementaires et d'optimiser la conception des bâtiments. Comme les précédentes, cette réglementation laisse toujours au constructeur le libre choix des moyens à mettre en œuvre pour atteindre la performance de consommation énergétique globale imposée.

Toutefois, ce projet oriente clairement l'attention des architectes, ingénieurs et constructeurs vers l'utilisation de vitrages et fenêtres performants et le traitement des ponts thermiques qui représentent actuellement de 20 % à 30 % des déperditions thermiques des bâtiments collectifs isolés par l'intérieur. Il incite également à l'utilisation d'équipements de chauffage à rendement élevé. Il fixe enfin des seuils de performance minimale pour tous les ouvrages et équipements de manière à écarter les produits jugés trop peu performants et assurer de la sorte aux procédés et produits innovants des conditions de concurrence saines et stimulantes. Avec l'aide des labels « Haute Performances Énergétiques » et « Solaire » utilisés depuis 1983, qui permettent de donner de la visibilité aux efforts accomplis par les uns et les autres et de justifier les surcoûts attachés aux innovations mises en œuvre, la réglementation vise à définir des niveaux de performance anticipant les performances visées.

Le RT 2005 qui règle la question énergétique et environnementale des bâtiments neufs résidentiels et tertiaires (à l'exception de ceux dont la température normale d'utilisation est inférieure ou égale à 12°C, des constructions provisoires (d'une durée d'utilisation inférieure à deux ans), des bâtiments d'élevage ainsi que des bâtiments chauffés ou climatisés en raison de contraintes liées à leur usage). Elle fixe plusieurs buts à achever comme : améliorer la performance énergétique de la construction neuve d'au moins 15% selon la précédente réglementation RT 2000, pour un objectif de 40% en 2020, limiter le recours à la climatisation et finalement, maîtriser la demande en électricité. Elle permet aussi, d'une part de contribuer à l'indépendance énergétique nationale et d'autre part de favoriser la compétitivité économique

de l'ingénierie, des techniques et des produits français sur le marché intérieur et à l'exportation. Elle concerne surtout, l'isolation thermique, le renforcement des ponts thermiques, la ventilation, le chauffage, la construction bioclimatique, le confort d'été, l'éclairage et l'énergie renouvelable⁴⁰³.

Réglementation thermique et labels, moteurs pour maîtriser l'énergie et développer l'innovation :

Nous avons vu comment, depuis 1974 la France, mis en place une réglementation thermique dans le but de maîtriser la consommation énergétique des bâtiments. Cette réglementation est ensuite modifiée en 1977, 1981, 1982, 1988, 2000, 2005 et 2012. D'autres renforcements sont ensuite prévus tous les 5 ans avec un objectif de diminution de 10 % des consommations en 2005. Les modifications successives de la réglementation sont dans le but d'arriver à : renforcer les niveaux d'exigence, élargir le champ d'application et finalement, prendre en compte l'impact sur les consommations d'éléments non considérées dans les étapes précédentes⁴⁰⁴. La réglementation est, dès l'origine, un moyen efficace pour favoriser le développement de l'innovation.

On cherche en effet à atteindre deux objectifs : réduire les consommations d'énergie et maîtriser les coûts de construction. Pour faciliter le développement de l'innovation trois dispositifs sont mis en place : une structure réglementaire. Ceci permet de sélectionner pour chaque projet les solutions les plus pertinentes sur le plan technico-économique. Des labels allant plus loin que la réglementation et permettant aux industriels de mettre au point des produits performants et aux entreprises et maîtres d'ouvrages d'apprendre à les utiliser.

p 19046.

⁴⁰³ Décret n°2006-592 du 24 mai 2006 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des constructions, *JO* du 25 mai 2006. Arrêté du 24 mai 2006 relatif aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments, *JO* du 25 mai 2006

⁴⁰⁴ JEAN-CHRISTOPHE VISIER M., JEAN-ROBERT MILLET M., *La réglementation thermique française : un moteur pour la maîtrise de l'énergie et le développement de l'innovation*, JOURNÉES DE L'ÉQUIPEMENT, VARSOVIE - LES 16 ET 17 MARS 2000, TABLE RONDE SUR LA CONSTRUCTION 16 MARS 2000, PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES DES BÂTIMENTS, pp 24-29.

Tableau 7: Le tableau suivant synthétise les différentes modifications dans les techniques de la construction grâce aux réglementations thermiques.

Date	Champ d'application	Renforcement	Impacts considérés
1974	Logement		Parois, Ventilation
1977	Non résidentiel		Parois
1982	Logement	30%	Parois, Ventilation, Ensoleillement
1988	Logement		Parois, ventilation, ensoleillement, chauffage, eau chaude sanitaire
1988	Non résidentiel	25%	Parois, ensoleillement
2000	Tous bâtiments	5 à 10% dans le logement, 25% dans le non résidentiel	Parois, ventilation, ensoleillement, chauffage, eau chaude sanitaire, éclairage (non résidentiel)
2005	Tous bâtiments	15% dans tous bâtiments	Parois, ventilation, ensoleillement, chauffage, eau chaude sanitaire, éclairage, confort d'été, architecture bioclimatique, énergie renouvelable.

La réglementation moteur de l'innovation

Les réglementations fixent un niveau minimal à respecter. Pour préparer l'avenir et favoriser la recherche de solutions plus performantes des labels sont mis en place avec les différentes étapes réglementaires. Ces labels imposent un niveau de performance plus élevé que le niveau réglementaire obligatoire. L'obtention d'un label permet d'obtenir un financement. Le label haute isolation, premier label dès 1980, puis le label haute performance énergétique en 1983, mis en place par les pouvoirs publics sont complétés par des labels privés tels que celui mis en place par Électricité de France pour développer des systèmes d'isolation, des fenêtres et des systèmes de chauffage efficace. En 2005, le label haute performance énergétique se décline en cinq niveaux :

- HPE 2005 : pour les constructions dont les consommations conventionnelles sont inférieures d'au moins 10% par rapport à la consommation de référence RT 2005 et pour l'habitat au moins 10% par rapport à la consommation maximale autorisée.
- THPE 2005 : pour les constructions dont les consommations conventionnelles sont inférieures d'au moins 20% par rapport à la consommation de référence RT 2005 et pour l'habitat moins 20% par rapport à la consommation maximale autorisée.

- HPE EnR 2005 : basé sur les exigences du label HPE 2005 accompagnées d'exigences sur l'installation d'équipements d'énergie renouvelable. Soit le chauffage, et éventuellement la production d'eau chaude sanitaire, est assuré par une chaudière utilisant la biomasse, et en particulier le bois. Soit, le bâtiment est raccordé à un réseau de chaleur alimenté par au moins 60 % de bois ou de biomasse, ce qui apporte une réponse aux collectivités territoriales qui font des efforts pour produire de la chaleur avec des combustibles renouvelables.
- THPE En 2005 : pour les constructions dont les consommations conventionnelles sont inférieures d'au moins 30% par rapport à la consommation de référence RT 2005 et, pour l'habitat, au moins 30% par rapport à la consommation maximale autorisée, accompagné d'exigences sur des équipements d'énergie renouvelable (capteurs solaires thermiques, capteurs photovoltaïques ou éoliennes) ou de pompes à chaleur très performantes, préfigurant certaines technologies devant être déployées pour la RT 2010.
- BBC 2005 : bâtiment basse consommation énergétique. Ce niveau vise une consommation très fortement inférieure à la consommation énergétique réglementaire avec d'une part, un niveau d'exigence calé pour le résidentiel sur 50 kWhep/m². an en énergie primaire en prenant en compte les consommations de tous les usages (chauffage, refroidissement, production d'ECS, ventilation et éclairage) et décliné selon les zones climatiques de la RT 2005 et l'altitude du projet de construction. D'autre part, une performance énergétique de 50 % par rapport à la performance réglementaire pour les bâtiments tertiaires⁴⁰⁵.

Enfin, nous montrons ci-après une chronologie des réglementations et des labels effectuée depuis 1974.

⁴⁰⁵ L'arrêté du 3 mai 2007 relatif au contenu et aux conditions d'attribution du label " haute performance énergétique ". L'atteinte de certains de ces labels permet de bénéficier d'un dépassement de coefficient d'occupation des sols (COS). Il est également possible de bénéficier d'un dépassement de COS sous d'autres conditions. L'arrêté du 3 mai 2007 pris pour application de l'article R.111-21 du code de la construction et de l'habitation relatif aux conditions à remplir pour bénéficier du dépassement de coefficient d'occupation des sols en cas de respect d'exigences de performance énergétique par un projet de construction.



L'économie d'énergie dans les recherches architecturales

La crise énergétique n'est pas sans conséquence sur l'architecture. Les solutions visant à économiser l'énergie induisent de nouvelles manières d'habiter que doit intégrer le projet architectural, la mise en œuvre de nouveaux savoir-faire thermiques ou la redécouverte de savoir-faire plus traditionnels contribuent à l'enrichissement des formes architecturales. La dynamique de « l'architecture solaire », le développement de « l'architecture bioclimatique », provoquent une prise de conscience et posent le problème de la maîtrise de l'énergie. Pour cela, il est essentiel de prendre en compte les incidences architecturales du contexte énergétique dans la formation des intervenants dans l'acte de bâtir et les architectes. Une prise de conscience des problèmes écologiques liés à la pollution, à la gestion des ressources en matières premières et à la crise énergétique liée au premier choc pétrolier, est mise en place dans les écoles d'architectures.

La première grande initiative du Plan Construction est de lancer en janvier 1972 un concours sous le nom de Programme Architecture Nouvelle (PAN). Ces concours permettent de favoriser la recherche dans le domaine des techniques innovantes. Ils sont destinés à faire connaître des projets novateurs ainsi que leurs auteurs, et à faciliter l'accès de jeunes architectes à la commande publique. Les recherches des quatre premiers appels d'offre de PAN se portent vers l'industrialisation, la qualité de la construction — sujet qui avait fait défaut aux constructions des décennies précédentes de la reconstruction. Les économies d'énergie et la question urbaine marquent la période d'après crise pétrolier en 1974. Ces concours d'architecture sont des applications en vraie grandeur des économies d'énergie en France. Les sessions du PAN sont orientées par un thème visant à répondre aux préoccupations des milieux professionnels et politiques : habitat en ville moyenne, habitat de loisirs, grands ensembles, habitat intermédiaire, le logement en question – Type, contexte,

modification – ce dernier représente le thème du PAN 14. Les PAN s'étendent à l'Europe communautaire (programme Europan), en 1988, et permettent de saisir en France les innovations européennes. L'Europan₁ est encore très lié à la problématique précédente du PAN 14, comme en témoigne son thème « Évolution des modes de vie et architecture du logement ». Dès le deuxième appel d'offres en 1989, l'accent est mis sur ce qui devient le lieu central des interrogations, les « territoires »⁴⁰⁶. L'échelle d'intervention s'est élargie, l'expérimentation change d'échelle, elle rajoute la dimension territoriale dans la recherche de solution architecturale. Au travers de neuf thèmes différents, de l'évolution des modes de vie à la mobilité, de la requalification urbaine à la reconstruction de la ville sur la ville, de la notion de « Chez soi en ville » à celle d'« Entre-villes », Europan a mobilisé en Europe plus de 18000 architectes, 420 villes dans une vingtaine de pays et 400 maîtres d'ouvrages urbains et opérationnels⁴⁰⁷.

Le 10 février 1972, une directive du ministre des affaires culturelles, Jacques Duhamel, crée le Comité de la recherche et du développement en architecture (CORDA)⁴⁰⁸. Il publie des appels d'offre après la crise pétrolière. Pendant deux ans, ces appels d'offres posent la question globale de l'intégration de l'architecture dans son milieu. Certaines réponses exposent des savoirs scientifiques d'ordre physiologique, climatologique et thermique. L'objectif est de donner au concepteur des outils de base pour l'élaboration du projet. C'est le réinvestissement ou la mise au point de ces savoirs qui marquent la recherche architecturale de cette époque. Cependant, la crise énergétique renforce les connaissances sur la thermique de bâtiment pour déboucher sur des outils de conception adaptés aux conditions nouvelles de construction et permettre aussi de construire des bâtis mieux appropriés au climat et plus économes en énergie.

En 1977 et 1978, le CORDA s'associe au Plan Construction pour lancer les programmes CAFU (climat, architecture et formes urbaines)⁴⁰⁹. La question du microclimat urbain et des apports énergétiques en ville est abordée. A partir de 1982, la recherche

⁴⁰⁶ Rendre possible : du Plan Construction au Puca : 40 ans de réalisations expérimentales. Ouvrage collectif, PUCA, Juin 2012, p120.

⁴⁰⁷ <http://www.archi.fr/EUROPAN-FR>

⁴⁰⁸ Organisme de la Direction de l'architecture.

⁴⁰⁹ Ce thème, est abordé par Olgyay qui propose des configurations urbaines adaptées à des climats différents, et par une autre recherche de Georges et Jeanne Marie Alexandroff traite de l'utilisation des modèles de bâtiments existants sous différents climats et montre les enseignements que l'on peut tirer de l'étude de l'architecture du lieu. Le rapport est publié en librairie : G et J.M Alexandroff *architecture et climat : soleil et nature dans l'habitation*, paris berger-levrault, 1982.

architecturale devient institutionnelle, avec la création du Service de la Recherche Architecturale (SRA), qui devient par la suite Bureau de la Recherche Architecturale (BRA). La bioclimatique est mise en place dans les recherches, elle est abordée comme sous-thème du « Construction, bioclimatique et projet architectural ». Alain Chatelet explique dans son article « Ambiances et écologie » que

« [...] le texte place la bioclimatique au cœur du projet architectural. Ensuite, considérant les savoirs fondamentaux comme acquis ou en passe de l'être, il ne s'agit pas d'étudier les composants ou systèmes maintenant classiques – la serre et le capteur comme éléments symboliques de l'approche solaire- mais la place des éléments plus classiques de l'architecture dans une conception économe en énergie. Il convient également de rendre les savoirs acquis opératoires grâce à des outils d'aide à la conception et, plus tard, à la pédagogie, dont l'élaboration va mobiliser une bonne partie de la recherche architecturale et énergétique »⁴¹⁰.

Enfin, dans les années 1970, la thermique étant considérée comme maîtrisée, les autres facteurs physiques du projet réapparaissent. Nous redécouvrons alors que la lumière est un des « matériaux » favoris des architectes et que, dans le secteur tertiaire notamment, l'éclairage rentre pour une part non négligeable dans le bilan énergétique. Les travaux du CSTB de Nantes et du LASH de l'École Nationale des Travaux Publics de l'État à Vaulx-en-Velin vont, pour l'essentiel, servir de support au développement de cette problématique d'une meilleure utilisation de l'éclairage naturel en concordance avec le traitement thermique, ce qui entraîne la réflexion sur le terrain de l'analyse multicritères. Les recherches sur le thème bioclimatique et thermique se poursuivent en France. En 1986, le SRA propose le thème « architecture et milieu physique ». Le BRA, en 1990, publie le thème « étude du confort et des ambiances architecturales et urbaines » et trois ans plus tard « confort, ambiances » aux côtés de « savoirs constructifs et matériaux », « le projet et sa mise en œuvre », « mathématique et informatique appliquées à l'architecture », à l'intérieur du thème générique « sciences et techniques ». Ce domaine recouvre les approches cherchant à appréhender l'architecture et l'urbanisme à partir d'une instrumentation particulière, qu'elle soit d'ordre matériel ou abstrait. Le développement du marché des productions performantes en énergie est avancé grâce aux études et aux recherches conduites par plusieurs organismes publics et privés, tels COSTIC, CSTB, AFME et Plan Construction. Ils développent des études sur les matériaux nouveaux et les règles de calcul thermique. Et c'est dans ce cadre là-que le Plan construction participe à l'amélioration de l'habitat en France avec: HOT (habitat original par

⁴¹⁰ CHATELET Alain, Ambiance et écologie, la filiation historique dans la recherche architecturale française, In : *les cahiers de la recherche architecturale*, N° 42/43, p 120.

la thermique) à partir de 1974 et H2E 85 (Habitat économe en énergie pour 1985) lancé en 1980 qu'on peut le considérer comme un des grands programmes finalisés des années 1980. L'objectif de programme HOT est de développer la prise en compte du contrôle thermique de l'enveloppe, et de promouvoir auprès du public l'architecture bioclimatique⁴¹¹. Le programme H2E 85 a pour objectif de réduire de moitié la consommation énergétique en 1985 par rapport à 1980. Par usage il s'agit de réaliser une économie de 60 % sur le chauffage, de 30 à 40 % sur l'eau chaude sanitaire, de stabiliser la consommation d'électricité spécifique⁴¹². La réalisation s'étale sur cinq ans. L'année 1981 est particulièrement consacrée à l'évolution de l'enveloppe des bâtiments⁴¹³ : trois consultations sont en effet lancées, sur l'habitat hyperisolé, sur les composants fenêtres et sur les composants adaptés pour l'architecture climatique. L'année 1982 à l'utilisation rationnelle des énergies dans ces nouvelles enveloppes de bâtiment, l'année 1983 à l'adaptation des équipements. Année de synthèse 1984 et de préparation de la nouvelle réglementation thermique. Il permet de passer, avec trois années de retard par rapport aux prévisions, à la réglementation de 1988, qui porte sur l'ensemble des consommations du bâtiment à construire et prend en compte le chauffage et la production d'eau chaude⁴¹⁴.

Le concours annuel d'architecture : le programme finalisé « Habitat Économe en Énergie 1985 », animé par le Plan Construction, permet de disposer des outils et techniques propres à mettre en œuvre en 1985 « un habitat économe en énergie, c'est-à-dire dont la consommation est réduite de moitié par rapport à ce qu'elle était sur la base de la réglementation thermique de 1974 »⁴¹⁵. Pour ce faire, un certain nombre de consultations sont organisées annuellement, ces consultations sont orientées soit vers la recherche appliquée, soit vers la mise en œuvre de techniques et procédures de développement. Ainsi, en 1981, six appels d'offre sont lancés : l'habitat hyper-isolé, les pompes à chaleur (recherche et diffusion), le composant bloc fenêtre, les composants de l'architecture bioclimatique, les composants de commande et de régulation

⁴¹¹ OLIVE Gilles, *Technique et architecture*, juin juillet 1984, N° 354, pp.91-92.

⁴¹²PROGRAMME DE RECHERCHE ET D'EXPÉRIMENTATION BÂTIMENT ÉCONOME, 19980218, Équipement, logement, transports et espace, ARCHIVES NATIONALES SECTION DES MISSIONS CENTRE DES ARCHIVES CONTEMPORAINES.

⁴¹³Liste des études et opérations de 1981 à 1987 de divers programmes, 19980218/2, Équipement, logement, transports et espace, ARCHIVES NATIONALES SECTION DES MISSIONS CENTRE DES ARCHIVES CONTEMPORAINES.

⁴¹⁴La conception et la réglementation à propos du programme H2E 85, Gilles Olive, *Techniques et architecture*, juin – juillet 1984 N° 354, pp. 91-92.

⁴¹⁵ Le concours annuel d'architecture, BÂTIMENTS ÉCONOME PROGRAMME 1987, ARCHIVES NATIONALES DES FONTAINEBLEU, 19980218.

de l'habitat climatique, la production d'eau chaude sanitaire par pompes à chaleur⁴¹⁶. Les résultats de ces consultations permettent de mettre en évidence l'avancement des connaissances dans chaque domaine concerné. Le concours est essentiellement orienté vers les équipes de conception (architectes, thermiciens et bureaux d'études), qui se seront adjoint un ou plusieurs maîtres d'ouvrage s'engagent sur la réalisation effective de l'opération étudiée en financement PAP ou PLA. Dans une première réunion de préparation de ce concours, Gille Olive et Emmanuel Aureau, précisent que « ce concours se situe dans le cadre de 'évolution du règlement thermique entre 1982 et 1985. Il s'appuie donc sur la prise en compte du coefficient S et s'orientera progressivement vers la conception du coefficient de consommation C de 1985 »⁴¹⁷.

Devenu « Bâtiment Économe » en 1986 avec l'élargissement des activités du Plan Construction à l'ensemble du secteur du bâtiment (anciennement appelé Habitat Économe), ce programme de recherches et d'expérimentations trouve par cette nouvelle dimension une plus grande cohérence autour de son objectif : la réduction des dépenses de fonctionnement des bâtiments (dépenses à caractère thermique ou non, d'exploitation ou de maintenance, pour des immeubles à usage ou non d'habitation)⁴¹⁸. Dans les années 1980s l'essentiel des efforts des pouvoirs publics en direction de la maîtrise des charges d'exploitation est consacré essentiellement au secteur de l'habitat. Le secteur des bâtiments à usages autres que d'habitation est nettement moins bien identifié, portant les praticiens de la maîtrise des charges relèvent sur ce parc des gisements d'économie des dépenses d'exploitation, notamment d'origine énergétique, considérables. La réduction des dépenses d'exploitation du secteur tertiaire passe par des actions de recherche et d'expérimentation spécifiques à ce secteur, mais bénéficie également d'un certain nombre de retombées des activités dirigées vers le secteur de l'habitat, notamment vers les immeubles collectifs. Les pistes de recherche et d'expérimentation pour la maîtrise des dépenses d'exploitation des bâtiments à usage autres que d'habitation sont nombreuses. La définition d'une problématique sur l'ensemble du secteur tertiaire face à la maîtrise des charges et d'une méthodologie adaptée, finalisée, passe par une exploration statistique et sociale des composantes du parc qu'il convient d'engager également dès 1987. Les thèmes techniques des composantes du parc tertiaires sont : la climatisation, le diagnostic des chaufferies collectives, les outils techniques de gestion, la

⁴¹⁶ *Ibid.*

⁴¹⁷ *Ibid.*

⁴¹⁸ BÂTIMENTS ÉCONOME PROGRAMME 1987, ARCHIVES NATIONALES DES FONTAINEBLEU, 19980218.

mise à niveau de la réglementation thermique du tertiaire neuf, la réduction du coût d'entretien des bâtiments, l'éclairage, la production d'eau chaude sanitaire, le chauffage et les techniques spécifiques d'enveloppe.

Conclusion :

Au lendemain de la première crise pétrolière, d'importants efforts sont déployés aussi bien pour réduire les consommations dans l'habitat existant que pour construire un habitat neuf plus économe en énergie. Cependant, la courte histoire de ces deux types d'efforts est très différenciée. Pour ce qui est de l'approche de la maîtrise de l'énergie dans l'habitat neuf, on peut retenir les trois phases suivantes :

Première phase : la programmation d'une réglementation thermique en 1974 tente de redonner une valeur optimale aux coûts globaux actualisés des logements en exigeant une isolation plus élevée et une ventilation plus faible. Le recours à une mesure réglementaire est suffisant car les moyens pour satisfaire les nouvelles exigences sont connus et praticables économiquement à ce stade.

Deuxième phase : l'idée d'économie d'énergie en provoque rapidement deux autres : l'idée de récupération d'énergie rejetée et surtout l'idée de recourir aux énergies renouvelables, principalement à l'énergie solaire par des méthodes dites actives ou passives. De nombreuses équipes de recherche se sont lancées dans cette voie, aidées par le COMES et la Direction de la Construction. Cette nouvelle dynamique du monde du bâtiment, soutenue par la Direction de la Construction et l'AEE permet la promulgation de la réglementation thermique de 1982, qui, en prenant le niveau de besoin en chaleur des logements comme exigence, intégrait naturellement les premiers acquis de cette nouvelle discipline qu'on peut appeler l'énergétique du bâtiment.

Troisième phase : l'évolution du contexte technico-économique nécessite de faire encore et rapidement de plus grands efforts pour atteindre les nouvelles valeurs optimales prévisibles des coûts globaux actualisés des logements tout en maîtrisant leur coût d'investissement. Pour ce faire, le seul recours à une mesure réglementaire est insuffisant, il faut de plus forcer l'efficacité technico-économique, sans imaginer pouvoir aller jusqu'à la mutation technologique. A cette fin, il faut obtenir un consensus du monde du bâtiment autour d'un objectif technico-économique fort, pour une dynamique très volontaire. Ce sont les raisons d'être du programme interministériel « Habitat Économe en Énergie pour 1985 », qui par

l'organisation d'un large mouvement de recherche, expérimentation, démonstration, développement et diffusion, emporte la conviction pour produire les moyens d'atteindre l'objectif fixé, qu'on peut alors traduire dans une exigence réglementaire.

On voit que ces trois phases sont marquées par des mesures réglementaires, mais de manière différenciée. En 1974, on promulgue une première réglementation pour provoquer une évolution technique. En 1982, cette évolution renforcée par une autre, est traduite dans une deuxième réglementation. Pour 1985, on suscite une évolution technique qui permettra une troisième réglementation.

Chapitre 6 : Maîtrise d’ouvrage et maintenance

<u>Chapitre 6 : Maîtrise d’ouvrage et maintenance</u>	191
<u>La maîtrise d’ouvrage publique (MOP), Maitrise d’ouvre</u>	192
<u>Caractéristiques de la profession d’architecte en France</u>	194
<u>La maîtrise d’œuvre en Grande Bretagne</u>	196
<u>La maintenance et son encadrement réglementaire</u>	197
<u>La maintenance : Définition de la Norme AFNOR</u>	199
<u>La maintenance et la maîtrise de l’ouvrage</u>	200
<u>Les enjeux de la prise en compte de la maintenance dans un projet</u>	201
<u>L’approche énergétique globale</u>	203
<u>Les sources énergétiques</u>	204
<u>Optimisation énergétique</u>	204
<u>Conclusion</u>	205

Les charges sont une partie importante de la dépense pour les gestionnaires des bâtiments publics. Économiser la dépense y est devenu nécessaire pendant et après la crise pétrolière de 1974. Dans ce contexte, les pouvoirs publics commencent à exiger une maintenance et un entretien régulier du patrimoine. Jean-Marc Peyrical affirme actuellement que « la protection du patrimoine public a une valeur constitutionnelle. La maintenance des bâtiments mérite donc une attention toute particulière »⁴¹⁹. Au cours des années 1970-1980, des outils sont mis en place afin de :

« de cerner dès le début de l'opération d'investissement tous les paramètres qui auront une incidence dans la vie future de l'équipement. Afin de ne pas omettre de considérer en temps voulu les contraintes ou les données susceptibles d'occasionner des difficultés de fonctionnement, voire aussi des désagréments d'utilisation, il convient de faire un recensement préalable en se posant les questions le plus en amont possible sur tout ce qui est susceptible d'avoir une influence sur le fonctionnement du futur bâtiment »⁴²⁰.

Il n'est plus possible d'ignorer le fonctionnement et le comportement temporel du parc immobilier. Les investissements des maîtrises d'ouvrages publics deviennent nécessaires pour prendre en compte le futur dans les choix présents. Quelle est le rôle de maîtrise d'ouvrage dans la gestion de maintenance ? Qu'est-ce que veut dire raisonner en coût global ? Que signifie l'approche énergétique globale ?

Pour répondre à ces questions, nous abordons, dans un premier point, la répartition des responsabilités entre maîtrise d'œuvre et maîtrise d'ouvrage, puis le rôle de la maintenance dans l'économie d'énergie des établissements publics.

La maîtrise d'ouvrage publique (MOP), Maîtrise d'œuvre

La loi n° 85-704 du 12 juillet 1985 (loi MOP), relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée, précise la responsabilité principale de la première :

⁴¹⁹ LOCALTIS INFO / APASP, <http://www.localtis.info/>, date de la consultation, 10/08/2012.

⁴²⁰ *Prendre en Compte l'Exploitation et la Maintenance dans la conduite de projet immobilier*, Outil n°1, centre d'Études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques, 2002, juin, 17 p.

« il lui appartient après s'être assuré de la faisabilité et de l'opportunité de l'opération envisagée, d'en déterminer la localisation, d'en définir le programme, d'en arrêter l'enveloppe financière prévisionnelle, d'en assurer le financement, de choisir le processus selon lequel l'ouvrage sera réalisé et de conclure, avec les maîtres d'œuvre et entrepreneurs qu'il choisit, les contrats ayant pour objet les études et l'exécution des travaux »⁴²¹.

Les dispositions de cette loi s'applique à la réalisation de tous ouvrages de bâtiment ou d'infrastructure ainsi qu'aux équipements industriels destinés à leur exploitation dont les maîtres d'ouvrage sont : l'État et ses établissements publics ; les collectivités territoriales, les établissements publics régionaux, leurs établissements publics, les établissements publics d'aménagement de ville nouvelle ; les organismes privés d'habitations à loyer modéré ⁴²².

Les maîtrises d'œuvre, pour leur part, doivent permettre d'apporter une réponse architecturale, technique et économique au programme du projet. Le contrat entre maître d'œuvre et maître d'ouvrage doit permettre :

« au maître d'œuvre, de réaliser la synthèse architecturale des objectifs et des contraintes du programme, et de s'assurer du respect, lors de l'exécution de l'ouvrage, des études qu'il a effectuées ; au maître de l'ouvrage, de s'assurer de la qualité de l'ouvrage et du respect du programme et de procéder à la consultation des entrepreneurs, notamment par lots séparés, et à la désignation du titulaire du contrat de travaux »⁴²³.

L'apparition de l'expression « maître d'œuvre » remonte à l'époque romaine⁴²⁴ où l'ouvrier le plus qualifié, le plus capable à guider ses compagnons dans l'art du bâti se voit confier la responsabilité de mener à bien les travaux. À l'époque, il est normal que le « maître d'œuvre » au sens strict soit en même temps « entrepreneur ». En France, c'est en 1671, à l'époque de Louis XIV, que la séparation entre les architectes et des autres maîtres d'œuvre prend place par la création de « l'Académie royale d'architecture ». Cette académie distingue « les maîtres-maçons, entrepreneurs des autres gens se mêlant des bâtiments ». Une autre définition de l'architecte est mise en place par la Société Centrale des Architectes — créée en 1840 — qui établit en 1895 un code d'honneur des architectes dit Code Guadet⁴²⁵, qui rétablit

⁴²¹ Loi n° 85-704 du 12 juillet 1985 relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée. Journal Officiel de la République Française, 13 juillet 1985. 7914.

⁴²² *Ibid.*,

⁴²³ *Ibid.*, 7915.

⁴²⁴ MODERNE Franck, *la fonction de maîtrise d'œuvre dans la construction publique*, Paris : Palloz, 1997, P2.

⁴²⁵ GUADET Julien, Les devoirs professionnels de l'architecte, In : *L'Architecture*, 10 août 1895, 288 p. Ce texte définit des règles de conduite, il ne les impose par aucune mesure, précise son rédacteur : « L'architecte qui connaît ses devoirs fait ceci, il ne fait pas cela, constatant ainsi la manière d'agir d'un architecte honnête et ne cherchant pas à donner des leçons ».

la figure de l'architecte-artiste⁴²⁶ et l'incompatibilité de ses fonctions avec celles d'entrepreneur⁴²⁷.

En même temps, la création des écoles régionales des Beaux-arts fondées en 1682, limite la liberté d'exercer l'architecture et la maîtrise d'œuvre. La définition libérale et artistique, issue de l'École des Beaux-arts, de la profession d'architecte résulte de la séparation des disciplines entre architectes et ingénieurs, selon une configuration dont on ne trouve pas d'équivalent dans les autres pays européens. Il faut attendre la création de l'Ordre des architectes en 1940⁴²⁸, la réglementation de 1973 relative à l'ingénierie qui précise que le maître d'œuvre est « l'unique responsable de la conception et du contrôle d'exécution de l'ensemble des ouvrages à réaliser »⁴²⁹, et surtout la loi sur l'architecture de 1977⁴³⁰, pour instaurer le recours obligatoire à l'architecte pour l'élaboration du projet architectural faisant l'objet de la demande de permis de construire, hors constructions de faible importance.

Caractéristiques de la profession d'architecte en France

Les modes d'exercice de la profession d'architecte conformément à l'article 14 de la loi de 1977 sur l'architecture sont les suivants :

« L'exercice individuel, sous forme libérale, en qualité d'associé d'une société d'architecture, en qualité de fonctionnaire ou d'agent public, en qualité de salarié d'organismes d'études exerçant exclusivement leurs activités pour le compte de l'État ou des collectivités locales dans le domaine de l'aménagement ou de l'urbanisme, en qualité de salarié d'un architecte ou d'une société d'architecture, en qualité de salarié ou d'association d'une personne physique ou morale de droit privé édifiant des constructions pour son propre et exclusif usage, en qualité de salarié d'une société d'intérêt collectif agricole d'habitat rural »⁴³¹.

⁴²⁶ Dans le quel le dictionnaire de l'Académie française définit l'architecte comme un « artiste qui compose les édifices, en détermine les proportions, les distributions, les décorations, les fait exécuter sous ses ordres et en règle les dépenses », *Dictionnaire de l'Académie française, 6th Edition (1832-5)*, P120

⁴²⁷ MODERNE Franck, ... *Op, loc.*

⁴²⁸ La loi du 31 décembre 1940 de l'ordre des architectes, « la profession d'architecte est incompatible avec celle d'entrepreneur, industriel ou fournisseur de matières ou objets employés dans la construction », Franck MODERNE, *la fonction de maîtrise d'œuvre dans la construction publique*, Palloz, 1997, Paris, P3

⁴²⁹ GARCIA Jean-Paul, GRAND Philippe, *De la maîtrise d'œuvre en France, constat et perspectives*, Conseil général des ponts et chaussées, Rapport n° 2002-0110-01, p8.

⁴³⁰ La loi n° 77-2 du 3 janvier 1977 relative à l'architecture, elle réserve à l'architecte la conception du « projet architectural » faisant l'objet d'une demande de permis de construire, « sans préjudice du recours à d'autres personnes participant soit individuellement, soit en équipe, à la conception », MODERNE Franck, *la fonction de maîtrise d'œuvre dans la construction publique*, Paris : Palloz, 1997, P5.

⁴³¹ DAUGE Yves, *Rapport d'information fait au nom de la commission des Affaires culturelles sur les métiers de l'architecture*, Annexe au procès-verbal de la séance du 16 novembre 2004, N° 64, SÉNAT, p31.

On évalue à peu près de 35 000 le nombre des architectes exerçant actuellement en France dont 27 080 inscrits à l'Ordre⁴³². Le milieu professionnel français est marqué par une très forte domination de l'exercice privé (69 % des architectes exercent en libéral, 14 % en sociétés) sur le secteur public (3,3 % des architectes inscrits à l'Ordre sont fonctionnaires de l'État ou des collectivités locales). Les structures y sont très petites : 66 % des agences n'ont pas de salarié⁴³³. La maîtrise d'œuvre s'organise donc sur le modèle de la coopération plus ou moins temporaire entre structures et bureaux d'études spécialisés : selon la Mutuelle des Architectes Français, 50 % des montants de travaux traités par des architectes se font en co-traitance (10 % avec un ou plusieurs architectes, 40 % avec au moins un partenaire non-architecte), avec une proportion plus forte encore dans la commande publique où la co-traitance concerne 75 % des montants de travaux⁴³⁴. En ce qui concerne l'étendue des missions, la quasi-totalité des missions de maîtrise d'œuvre confiées par des maîtres d'ouvrage publics sont, comme les y oblige la loi MOP, des missions complètes. On entend par "mission complète" un contrat unique passé entre le maître d'ouvrage et une équipe solidaire de maîtrise d'œuvre, couvrant l'ensemble des missions de conception et de suivi de l'exécution liées à une opération. Dans le secteur privé, les commandes passées aux architectes sont pour un tiers des missions partielles, et leur proportion est en croissance, "témoignant d'une tendance au recul du contrôle des architectes sur l'exécution et donc sur la globalité des projets"⁴³⁵.

La conception et la maîtrise d'œuvre d'architecture sont désormais soumises à une organisation du travail répondant à la formule de l'« externalisation des compétences ». Le travail de conception est divisé entre architectes, urbanistes, paysagistes, économistes de la construction (anciens métreurs-vérificateurs), ingénieurs structure, thermiciens, acousticiens, géotechniciens, etc. La maîtrise d'œuvre est, quant à elle, distribuée entre architectes, bureaux d'études techniques, ingénieurs de contrôle, coordonnateurs SPS (sécurité protection santé), coordonnateurs SSI (système sécurité incendie), spécialistes de l'accessibilité aux handicapés, nouveaux experts HQE (haute qualité environnementale), etc⁴³⁶.

La maîtrise d'œuvre en France ne se définit pas de la même manière dans d'autres pays européens. La répartition de travaux entre équipes change aussi selon le système de production

⁴³² NOGUE Nicolas, *Architectes. Bilan 2000 de la profession*. Ordre des architectes, Observatoire de l'économie de l'architecture, Paris, 2000

⁴³³ Source : INSEE, Enquête Services 1999.

⁴³⁴ Source : Mutuelle des Architectes Français, statistiques chantier, mars 2000.

⁴³⁵ COURDURIER Élisabeth, TAPIE Guy, *Contrat d'Études Prospectives sur l'évolution des professions de la maîtrise d'œuvre*, Rapport pour le Ministère de l' (Emploi, Paris, GRAIN, novembre 2001.

⁴³⁶ RAYNAUD, Dominique. « La « crise invisible » des architectes dans les Trente Glorieuses, Manuscrit auteur », In : *Histoire urbaine*, n°25, 2009, P 129 - 147.

de chaque pays. En Grand Bretagne maîtres d'ouvrage et maitres d'ouvre travaillent ensemble et en même temps avec tous les équipes afin de réaliser un projet.

La maîtrise d'œuvre en Grande Bretagne

Si le titre d'architecte est protégé en Grande Bretagne, sa fonction ne l'est pas. N'importe qui peut exercer cette profession. Il semble pourtant que les architectes interviennent dans près de 80 % des constructions. Organisés, les architectes le sont collectivement à travers le RIBA (Royal Institut of British Architects), institution créée en 1837, très importante, sorte d'académie d'architecture de Grande-Bretagne⁴³⁷. Ils le sont aussi individuellement et de façon originale. En effet la stratégie du concepteur britannique ne passe pas par une attitude de défense corporatiste. Il recherche plutôt des formules originales de partenariat avec les autres professions de la conception voire de la réalisation du bâtiment. C'est en termes de filières ou d'alliances que la profession se structure. La notion de maîtrise d'œuvre a tendance à s'effacer devant celle de « design team ». Le libéralisme qui balaye le pays 1978 à accéléré ce processus. Privatisation, concurrence, regroupements, exigences économiques, ont bousculé de nombreuses habitudes et notamment celles des citadelles déontologiques telles que le RIBA qui ont dû céder face à la pression des pratiques nouvelles et à la volonté politique de briser les monopoles. Pour ce qui les concerne, les 30 600⁴³⁸ architectes du Royaume-Uni bénéficient de la protection de leur titre (seuls les architectes inscrits à l'ARCUK (*Architects Registration Council of United Kingdom*) peuvent porter ce titre). Dans chacune de leurs tâches, ils se trouvent donc en concurrence avec d'autres intervenants du monde de la construction⁴³⁹.

Pour conclure,

———L'architecture britannique se caractérise par deux traditions profondément ancrées dans les comportements :

⁴³⁷ La maîtrise d'œuvre complète en Espagne, en Suisse et en Grande-Bretagne. *Plan Construction et Architecture et l'Association AVEC*. Mars 1989, pp 30-37.

⁴³⁸ Ces chiffres sont extraits du rapport de CARR (B.), GREZES (D.), WINCH (G.). *Stratégies et organisations des agences d'architecture à l'exportation : une comparaison franco-anglaise*. Paris, PUCA, 1998. 31 p.

⁴³⁹ BIAU Véronique, *La dévolution des marchés publics de maîtrise d'œuvre en Europe (Allemagne, Belgique, Danemark, Espagne, France, Italie, Pays-Bas, Portugal, Royaume-Uni)*, Centre de Recherche sur l'Habitat (LOUEST, UMR n° 7544 du CNRS), École d'Architecture de Paris-Val de Seine, Octobre 2002, p155.

- Un souci de l'environnement et du confort domestique suscitant la réalisation d'une architecture vernaculaire de qualité.
- Une attirance pour l'ingénierie, particulièrement visible actuellement avec l'architecture « High Tech » mais qui a, de tous temps, poussé l'architecte anglais à collaborer étroitement avec des ingénieurs.

Ces deux attitudes ont permis l'émergence de grandes figures de l'architecture britannique, mais aussi une qualité moyenne généralement reconnue.

La maintenance et son encadrement réglementaire

La notion de la maintenance n'est pas nouvelle en France. Aux XVIII^e et XIX^e siècle, la priorité est donnée au maintien en bon état des bâtiments publics. L'entretien et la maintenance concernent surtout les bâtiments militaires, scolaires et hospitaliers. Le but de ces opérations est d'économiser la dépense et de diminuer les charges dans le budget de consommations. Le ministère de l'Éducation et le ministère des Armées sont les plus concernés, étant des ministères consommateurs et non producteurs. Pour cela, il faut y faire le plus d'efforts pour maîtriser la dépense surtout dans les périodes de crises. Le décret de 23 avril 1810⁴⁴⁰, précise le rôle de la ville dans le financement de l'entretien de ses bâtiments, un avis du Conseil d'État des 3-5 décembre 1838 décide que « l'entretien des bâtiments des cours d'appel, étant porté au budget de l'État, [...] »⁴⁴¹. La gestion des édifices publics sont confiés à chacun de ces ministres ; « l'immeuble échappe à l'autorité du ministre des Finances et à l'action de l'administration des Domaines »⁴⁴².

Au XX siècle, l'entretien de bâtiment prend de l'ampleur avec l'hygiène et la santé publics. Surtout dans les bâtiments scolaires où « L'inspecteur administratif chargé des constructions scolaires, Secrétaire de l'Inspection médicale des écoles, prend le titre d'Inspecteur administratif des bâtiments et des services d'Hygiène scolaire. Il est chargé, en cette qualité, de l'étude des questions d'hygiène intéressant les écoles et internats scolaire

⁴⁴⁰*Traité des édifices publics, des ventes domaniales et des partages de biens communaux et sectionnaires avant et depuis la loi du 1^{er} juin 1864 qui règle l'aliénation des biens du domaine de l'état*, Du classement des édifices, décret de 23 avril 1810, P 85.

⁴⁴¹ *Ibid.*, p 92. Nous trouvons aussi la responsabilité directe de chaque ministre en ce qui concerne l'entretien de ses bâtiments : c'est qu'en effet la conservation, l'entretien.

⁴⁴²*Ibid.*, p 187.

municipaux et départementaux ainsi que de toutes celles concernant la construction et l'entretien des bâtiments scolaires⁴⁴³ ».

Après la crise pétrolière en 1974, la maintenance reprend un rôle plus vaste. Elle est appliquée largement dans l'habitat, les équipements scolaires et les hôpitaux. Cela est dû à l'augmentation des coûts d'entretien et le besoin de réaliser une économie de la consommation globale dont la consommation énergétique. En fait, L'augmentation des coûts d'entretien a plusieurs origines : tout d'abord l'accroissement rapide du nombre et de la complexité des équipements techniques des bâtiments (ascenseur, ventilation mécanique, dispositifs de sécurité, etc) qui engendrent des dépenses supplémentaires. Par ailleurs, l'élévation générale du niveau de vie entraîne des besoins et des exigences nouvelles : les usagers réclament plus d'espaces verts, des espaces communs mieux conçus. L'architecture des façades s'est élaborée. Une meilleure fiabilité des équipements (ascenseurs, chauffage, eau chaude...) est requise de plus en plus partout.

Le respect d'un niveau de maintenance correct d'un patrimoine immobilier constitue un facteur d'économies futures. Il passe nécessairement par une parfaite connaissance technique. Cette connaissance repose en particulier sur des diagnostics régulièrement mis à jour, et qui débouchent sur l'élaboration d'un plan de maintenance destiné à fixer une programmation de travaux à réaliser. Après la publication de la loi MOP en 1985, la Plan Construction, avec ces partenaires, commence à s'intéresser aux recherches concernant les constructions publiques. Les questions liées à la gestion du patrimoine, aussi bien l'exploitation que la maintenance, sont rapidement apparues comme d'intérêt commun. Ces questions relèvent d'un nouveau programme qui se met progressivement en place au Plan Construction, intitulé « Bâtiment Économe » où ces questions sont abordées à la fois au plan économique et au plan technique⁴⁴⁴.

Les différents participants aux réunions préparatoires de ces recherches précisent les questions dans les domaines techniques, telles celles relatives aux ouvertures, à l'intermittence du celles relatives aux ouvertures, à l'intermittence du chauffage et à la sécurité⁴⁴⁵.

⁴⁴³ Art. 1 de 18 septembre 1922 du Préfet de la Seine qui précise la responsabilité dans tout ce qui concerne l'entretien des bâtiments scolaire. *Recueil des actes administratifs de l'année 1922*, partie municipale, première section, N° 9, mois de septembre, 27p.

⁴⁴⁴ Plan Construction, Compte-rendu de la réunion du 26 juin 1986 « Plan Construction et Constructions Publiques », 26 Juin 1986.

⁴⁴⁵ Plan Construction, Compte-rendu de la réunion du 17 Juillet 1986, « Plan Construction et Constructions Publiques : l'exploitation et la maintenance des construction », 17 juillet 1986.

Parallèlement aux missions de conduite d'opération, de construction, ou de réhabilitation, les services de constructions publiques assurent des missions relatives à la maintenance du patrimoine immobilier. Ces missions sont réalisées le plus souvent pour le compte de conseils régionaux (sur le patrimoine des lycées) ou de conseils généraux (sur le patrimoine des collèges), mais aussi pour le compte d'autres maîtres d'ouvrage : ministères ou collectivités locales.

La maintenance : Définition de la Norme AFNOR

La maintenance est définie par la norme NF X 60-010 de la façon suivante : « l'ensemble des activités destinées à maintenir ou à rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise »⁴⁴⁶.

Ces activités sont une combinaison d'actions techniques, administratives et de management⁴⁴⁷. Cette norme définit une typologie et cinq niveaux de maintenance (relatifs à tous types de maintenance)⁴⁴⁸. Ces cinq niveaux sont les suivants :

- 1—actions simples nécessaires à l'exploitation et réalisées sur des éléments facilement accessibles en toute sécurité à l'aide d'équipements de soutien intégrés au bien (complément de carburant ou fluides divers, graissage, remplacement d'articles consommables ou d'accessoires etc).
- 2—: actions qui nécessitent des procédures simples (contrôles de performances, certains réglages, les réparations par échange standard aisé de sous-ensembles etc.).
- 3—: opérations qui nécessitent des procédures complexes et/ou des équipements de soutien d'utilisation ou de mise en œuvre complexes (réglages généraux, réparations par échange de sous-ensembles et/ou de composant etc.).

⁴⁴⁶ Norme Afnor NF EN 13306:2001 ; Conseil d'État, 19 février 2007, N° 274758 ; Conseil d'État, 20 juin 2007, N° 256974.

⁴⁴⁷ Le terme « entretien », souvent employé par les gestionnaires de patrimoine, trop flou, doit être abandonné au profit de celui normalisé de « maintenance ».

⁴⁴⁸ La maintenance corrective : maintenance effectuée après défaillance, Palliative (dépannage), Curative (caractère permanent du résultat). La maintenance préventive : il est pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ou d'un service rendu. Systématique : effectuée selon un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unité d'usage. Conditionnelle : subordonnée au franchissement d'un seuil prédéterminé significatif de l'état de dégradation d'un bien. Prévisionnelle : subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation du bien, permettant de retarder et de planifier les interventions.

- 4 : opérations dont les procédures impliquent la maîtrise d'une technique ou technologie particulière et/ou la mise en œuvre d'équipements de soutien spécialisés (réparation spécialisées, travaux importants de maintenance corrective ou préventive etc.).
- 5 : opérations dont les procédures impliquent un savoir-faire, faisant appel à des techniques ou technologies particulières, des processus et/ou des équipements de soutien industriel (rénovation, reconstruction).

La maintenance et la maîtrise de l'ouvrage

Aucun texte juridique n'apporte une définition des opérations ou travaux de maintenance. Cependant, des éléments d'appréciation permettent d'aider à les qualifier et à évaluer les responsabilités de chaque intervenant.

Les opérations de constructions neuves, de réutilisation ou de réhabilitation relèvent de la loi « MOP ». Dans l'esprit du législateur, les travaux de bâtiment entrant dans le champ de la MOP doivent fonder une mission de base, c'est à dire être d'une certaine importance et toucher à la conception de l'ouvrage. Une opération sur existant qui nécessite le recours à une mission de base, même adaptée, relève de la MOP. Ainsi, les opérations de grosse maintenance de niveau 5 entrent dans cette catégorie.

Les marchés concernant des prestations de maintenance courante, correspondant sensiblement au niveau 1 et 2 de la norme NF X 60-010, relèvent des cahiers des clauses administratives générales fournitures et services, bref, les contrats de maintenance⁴⁴⁹. Il s'agit d'interventions qui ont un caractère répétitif et relativement fréquent dans l'année. Les marchés relatifs aux prestations de maintenance correspondant aux niveaux 3 à 5 de la norme AFNOR, relèvent des Cahiers des Clauses Administratives Générales (CCAG). Néanmoins, certaines prestations de niveau 3 peuvent entrer à titre accessoire dans le cadre de contrats de maintenance⁴⁵⁰ le Cahier des Clauses Administratives Particulières les (CCAP) — tout en faisant référence aux Cahiers des Clauses Administratives Générales (CCAG).

⁴⁴⁹ Guide des contrats de maintenance – CERTU / DGUHC - 1999

⁴⁵⁰ Changement de brûleur d'une chaudière par exemple

Les enjeux de la prise en compte de la maintenance dans un projet

Les erreurs de conception affectent lourdement les budgets futurs de fonctionnement, ces erreurs conduisent parfois à engager, dans les premières années d'usage du bâtiment, des travaux d'amélioration conséquents. Pour traiter en parallèle maintenance et conception, il convient d'adopter un processus de réflexion, pendant les phases de programmation, de conception et d'exécution, qui permettra de réaliser un ouvrage, non seulement en termes de coût d'investissement mais aussi en termes de coût global — ou coût généralisé⁴⁵¹ — de durée de vie. Ce concept, plus large, englobe l'ensemble des coûts de l'équipement liés à l'investissement, sa maintenance et son exploitation. Il faut ainsi, simultanément programmer et mettre au point le projet architectural et technique, évaluer le coût d'investissement et intégrer les données liées à la vie future de l'équipement.

De leur côté, les personnes publiques doivent veiller au respect de la réglementation en matière de bâtiments publics. La maintenance permet de mettre un ouvrage public en conformité avec les normes établies en matière de travaux publics, notamment celles permettant l'accessibilité aux personnes en situation de handicap. La maintenance est un enjeu de taille car elle nécessite des moyens financiers importants. La difficulté est de déterminer combien cela va coûter tout en sachant que le service public est gratuit. Seules les missions qui ne relèvent pas du service public pourraient être externalisées⁴⁵². En ayant recours à un prestataire extérieur, les frais de pilotage entraînent un surcoût de 15% à 20% de la prestation.⁴⁵³

Le coût de la maintenance dépend de plusieurs paramètres. En premier lieu, il faut tenir compte du niveau de maintenance, mais également du type de maintenance. Ainsi, le coût de la maintenance préventive et de la maintenance corrective ne s'apprécie pas de la même façon. D'une part, la maintenance préventive consiste à intervenir sur un équipement avant que celui-ci ne soit défaillant, afin de tenter de prévenir la panne. D'autre part, la

⁴⁵¹ Voir art. dans MERLIN P. et CHOAY F. (sous la dir.), *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*, PUF, 1988.

⁴⁵² Selon l'association APOGEE rencontrée par la mission, qui regroupe de nombreux gestionnaires immobiliers de tous types, les besoins annuels de maintenance sont évalués à partir d'un pourcentage du coût des constructions. Ce pourcentage dépend de l'âge des bâtiments : il est de 0,15% pour des bâtiments âgés de 0 à 5 ans, de 0,3% pour des bâtiments âgés de 6 à 10 ans, de 0,6% pour des bâtiments âgés de 11 à 15 ans, et de 1,4 % au-delà.

⁴⁵³ SOURCE : LOCALTIS INFO / APASP, <http://www.localtis.info/>. 23/2/2013.

maintenance corrective⁴⁵⁴ permet l'intervention sur un équipement une fois que celui-ci est défaillant. L'organisation du maître d'ouvrage est également une notion qui entre dans le coût de la maintenance. En effet, ce maître d'ouvrage peut avoir recours à des compétences internes, faire intervenir des sous-traitants spécialisés ou encore en déléguer la gestion. Enfin, pour globaliser ses prestations de maintenance, l'acheteur public peut également opter pour le partenariat public-privé, sous réserve d'une définition rigoureuse des besoins. Dans le cadre de la maintenance, un contrat de performance énergétique (CPE) peut également être mis en œuvre. Conclu entre un pouvoir adjudicateur et une société de services d'efficacité énergétique (SSEE), ce contrat peut permettre non seulement l'amélioration de la performance énergétique d'un bâtiment ou d'un parc de bâtiments, mais aussi cibler la diminution des consommations d'énergie par rapport à une situation de référence contractualisée.

Nous abordons par la suite les principaux procédés, établis par le Plan Construction en 1987, pour les doter de repères concrets susceptibles d'aider le maître d'ouvrage et son maître d'œuvre à concevoir des projets durables et à concilier leur « savoir-investir » et leur « savoir-exploiter ».

Nous comptons trois procédés possibles, ce sont :

- Le concept de coût global, qui consiste à associer l'ensemble des coûts liés à la vie d'un équipement : coût d'études, de production, d'utilisation, de maintenance et de mise au rebut, se situe dans la ligne des « analyses de la valeur », nées il y a soixante cinq ans aux États-Unis.
- L'analyse de la valeur « vise à concevoir et à réaliser au moindre coût un produit remplissant les fonctions reconnues réellement nécessaires avec le niveau de qualité voulue »⁴⁵⁵. Dès les années 1970, les impératifs de maîtrise des prix ont conduit à l'élaboration de méthodes complémentaires, comme la conception pour un coût d'objectif, dans lesquelles « on donne aux objectifs de prix la même importance qu'aux objectifs de performance et de délais »⁴⁵⁶. Cependant, cette

⁴⁵⁴ D'après LAINE Antoine, expert immobilier de la société A3P, la maintenance corrective est de plus en plus privilégiée par rapport à la maintenance préventive, car les bâtiments ont aujourd'hui une durée de vie plus courte qu'auparavant.

⁴⁵⁵ JOUINEAU, Claude. *L'analyse de la valeur*. Paris: Edition Moderne d'Entreprise, 1986.

⁴⁵⁶ GORMAND, Claude. *Le Coût Global*, AFNOR Gestion, 1986.

méthode peut conduire à la conception de produits dont les coûts d'utilisation et de maintenance sont excessifs.

- La conception pour un coût global de durée de vie, élaboré à la fin des années 1970, permet de maîtriser, dès la conception, l'ensemble des coûts d'un équipement.

En France, les décrets de 1973 sur l'Ingénierie reprennent pour partie ce concept et obligent les concepteurs à s'engager avec contrepartie financière, sur le seul coût de la réalisation. Nous abordons par la suite la maintenance dans le secteur d'économie d'énergie dans la construction car l'entretien de ce secteur peut assurer une économie importante, ce qui compte beaucoup pour l'économie de consommation globale.

L'approche énergétique globale

Le traditionnel découpage en lots distincts relatifs au bâti (isolation thermique, menuiseries extérieures, etc.) et aux équipements techniques (plomberie, chauffage, électricité, etc.) ne doit pas masquer l'exigence d'une approche globale de la conception énergétique d'un bâtiment et de ses équipements. La cohérence des solutions proposées vise simultanément⁴⁵⁷ :

- le traitement thermique de l'enveloppe
- les installations thermiques et la ventilation des locaux
- les installations frigorifiques (climatisation, rafraîchissement, conditionnement d'air, etc.)
- les installations et les équipements électriques

De plus, la liaison entre conception et exploitation du bâtiment, et de ses équipements techniques, doit être prise en compte dès la première proposition architecturale. C'est seulement de cette manière que peuvent être correctement mis en œuvre des critères économiques dans le choix des solutions. Le *Support d'aide à la rédaction du programme*, Prendre en compte l'exploitation et la maintenance dans la conduite de projet immobilier, publié en 2002, apporte des éléments qui aideront à intégrer les exigences favorables à

l'exploitation et la maintenance dans le programme. Ces exigences rejoignent souvent d'autres préoccupations telles que les qualités « architecturales », d'usage, de fonctionnalité, de confort et d'économie générale de l'ouvrage. Nous énumérons par la suite les éléments d'aide dans le domaine de l'économie d'énergie.

Les sources énergétiques

Lorsque l'on conçoit un bâtiment, différentes sources énergétiques sont envisageables, voire disponibles sur le site : l'électricité, les autres combustibles, les énergies renouvelables et récupérables, le charbon, le gaz naturel et les réseaux de chaleur et de froid.

Avant de proposer des équipements performants, il est nécessaire de traduire les exigences du programme en demande d'énergie et d'analyser les éléments qui pourront réduire cette demande pour une qualité de service identique. Pour un programme donné, la demande énergétique peut varier dans des proportions assez importantes.

Optimisation énergétique

Il s'agit de rechercher le meilleur compromis entre : les performances thermiques de l'enveloppe et les choix des systèmes de chauffage et de climatisation, les caractéristiques des usages et les choix des énergies, les caractéristiques des usages spécifiques de l'électricité et les choix des solutions électriques.

« Bien qu'elle soit essentielle, l'analyse énergétique et économique d'une solution est en général insuffisante. De nombreux autres aspects, souvent qualitatifs, intéressent le maître d'ouvrage et contribuent à la qualité globale d'un bâtiment. Ce peuvent être par exemple : les coûts d'investissement, la souplesse d'utilisation, la flexibilité des espaces, le zonage, la possibilité d'extension, l'intégration architecturale des équipements, le niveau de performance énergétique globale, le niveau de confort (été, hiver, demi-saison), le niveau de performance acoustique (entre locaux, vis-à-vis de l'extérieur, dans les locaux), la fiabilité des installations et les coûts et moyens d'exploitation »⁴⁵⁸.

Cela signifie qu'une comparaison entre des bilans économiques est rarement suffisante. Ainsi, comparer deux solutions différentes en coût global « investissement + maintenance + exploitation » oblige à mesurer les conséquences du choix d'une solution sur les autres aspects du projet.

⁴⁵⁷ *Prendre en Compte l'Exploitation et la Maintenance dans la conduite de projet immobilier*, Outil n°2, centre d'Études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques.

⁴⁵⁸ *Ibid*, pp 10-11

Le patrimoine bâti des collectivités représente le premier poste de leurs consommations en matière d'énergie (environ 75%), chauffage et électricité compris. Il s'agit donc d'un secteur où les économies d'énergie possibles sont les plus importantes, tant par la mise en œuvre de mesures d'optimisation des enveloppes des infrastructures, que par l'utilisation raisonnée des espaces, ou par l'utilisation et la production d'énergies renouvelables.

La première étape consiste à faire l'inventaire exhaustif des bâtiments de la collectivité et de répertorier les informations existantes sur ces derniers et les différents acteurs (entretien, gardiennage, fournisseurs...). Les bâtiments peuvent être classés selon leur utilisation (établissements scolaires, gymnase) et leurs consommations énergétiques.

Un programme de diagnostic thermique pour les bâtiments anciens peut être initié petit à petit. Pour chaque bâtiment, un diagnostic poussé est recommandé concernant les enveloppes que les réseaux de distribution, l'utilisation de l'espace, la gestion des flux (énergie, déchets, eau...), les habitudes des utilisateurs. Sur ce dernier point, la mise en place d'une politique d'écologie au travail dans les services ou par bâtiment est souvent un moyen de réduire sensiblement les consommations par les utilisateurs.

Conclusion

Nous avons vu comment la maîtrise d'ouvrage publique est devenue selon la loi MOP responsable de la réalisation de tous ouvrages de bâtiment ou d'infrastructure ainsi qu'aux équipements industriels destinés à leur exploitation. Les charges dans la phase d'exploitation coûtent très cher pour les bâtiments publics. Après la crise pétrolière de 1974, ces charges ont augmenté. Le besoin d'économiser la dépense dans les bâtiments publics s'est alors installé. Les pouvoirs publics ont commencé à exiger une maintenance et un entretien régulier de ce qui constitue leur patrimoine. Au cours des années 1970-1980, les maîtres d'ouvrage se préoccupent de plus en plus des conditions d'exploitation et de maintenance des bâtiments qu'ils font construire, pour réduire leur consommation globale.

Dans le domaine de la production des équipements publics, la division des compétences et des gestions financières conduit souvent à une rupture de responsabilités entre la période d'investissement et la période de fonctionnement. Cet état de fait conduit naturellement le maître d'ouvrage à construire en fonction du seul coût d'investissement. De son côté, le gestionnaire cherche à minimaliser le coût qu'il supporte, le coût de fonctionnement. Ces attitudes peuvent conduire, dans certains cas, à un surcoût important, soit

de fonctionnement, soit d'investissement. Suivant la distribution du pouvoir de décision, les positions sont contrastées, sans que les choix soient totalement justifiés sur un plan économique.

La relation entre maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre doit être établie dès la phase de conception. La conception, le choix des matériaux et des équipements mécaniques peuvent conduire à construire un bâtiment bien conçu en ce qui concerne les critères des économies d'énergie. Enfin, une comparaison entre des bilans économiques est rarement suffisante. Une des solutions possibles pour arriver à des économies plus conséquentes est de prendre en compte le coût global « investissement + maintenance + exploitation », ce qui oblige à mesurer les conséquences du choix d'une solution sur les autres aspects du projet.

Conclusion

Nous avons abordé le rôle des politiques européennes et françaises dans les économies d'énergie et la nécessité de limiter la consommation des ressources. La sensibilisation des citoyens européens est très importante pour ce sujet. Des enquêtes systématiques montrent qu'au début des années 1980, l'importance des économies d'énergie est liée à l'augmentation des prix du pétrole et la nécessité de trouver des sources énergétiques nationales. La proportion de personnes ayant pris une ou plusieurs mesures pour économiser leur consommation énergétique, est passée de 91 % en 1982 à 84 % en 1987⁴⁵⁹. Seuls les travaux d'isolation de la maison sont de plus en plus pratiqués : 47 % en 1987,

En France, de 1973 à 1988, les crises et les chocs pétroliers qui se succèdent, entraînent une remise en cause des différentes utilisations du pétrole. Les actions publiques portent alors sur deux types d'économie d'énergie : les premières sont d'ordre comportemental (baisse des températures intérieures, adoption des heures d'été, ...) et incluent, de fait, tout ce qui ne peut être considéré explicitement comme du « technologique ». Les deuxièmes actions sont d'ordre technologique (isolation des murs et isolation des canalisations de chauffage) et sont considérées comme des économies d'énergie structurelles. Les actions menées sont : information et sensibilisation des consommateurs, déductions fiscales, programme de recherche et développement, définition de labels de performances énergétiques et réglementations thermiques pour les logements neufs, aides au diagnostic thermique et à l'investissement. Pendant la troisième période, de 1988 à 2000, on constate une reprise modérée de la consommation totale. L'anticrise peut être expliquée par des changements structurels de l'activité économique (diminution du poids des industries lourdes, délocalisations industrielles...) ce qui constitue l'« effet de structure » et les efforts d'amélioration de l'efficacité énergétique au sein de chaque secteur économique c'est-à-dire l'« effet d'efficacité énergétique ».

Le rôle de la maîtrise d'ouvrage et le travail collectif avec les autres intervenants dans la phase de conception et même après la réalisation, sont établis en France petit-à-petit après 1974. Ce mode de travail n'existait pas avant en France (surtout le lien entre architecte et les

⁴⁵⁹ Rapports Eurobaromètre spéciaux 36,

autres équipes). Avant 1970, l'architecte donnait souvent l'impression d'un artiste qui œuvre et autorisant les techniciens à mettre en place son ouvrage. Avec la crise pétrolière qui arrête l'essor de la construction et réduit ainsi au chômage des milliers d'architectes, le statut de l'architecte recyclé par la formation continue les rend plus compétitifs et plus appliqués aux structures du bâti.

La maintenance et l'entretien des bâtiments aident également à réaliser des économies d'énergie. En effet, Le patrimoine bâti des collectivités représente le premier poste de leurs consommations en matière d'énergie (environ 75 %), chauffage et électricité compris. Il est recommandé alors de prendre des mesures pour optimiser la dépense énergétique dans l'enveloppe et les équipements mécaniques. L'utilisation raisonnée des espaces et la production d'énergies renouvelables peuvent aussi participer à cette économie nécessaire.

Troisième partie
Les bâtiments publics et leurs contextes
énergétiques

Pourquoi les bâtiments publics ?

Les édifices publics selon Patrick Mestelan sont : « Une des manifestations de l'institution. Ils complètent la structure de l'espace public. Ils la jalonnent selon les diverses hiérarchies et les échelles territoriales (de la ville au quartier) et s'articulent avec elle selon les caractères de représentativité qu'ils expriment. Ils sont une manifestation architecturale, qui est liée à la mémoire (les monuments) et aux institutions qui les édifient : la loi, la politique, la santé, la culture, l'enseignement et tout ce que l'on nomme parfois les « équipements publics » (interface, sports et loisirs, énergie, télécommunications, etc.) les « éléments singuliers » d'Aldo Rossi »⁴⁶⁰.

Les monuments publics sont, du moins en France, État-nation, le plus puissant d'Europe, du XIIe au XIXe siècle, à la gloire du prince qui ne les traverse qu'exceptionnellement. Depuis Louis XIV, les monuments royaux sont hors de tout soupçon car ils assurent leur pérennité, donc la gloire du prince. « Le peuple veut du plaisir et du beau ? Faisons du désir et du pérenne, assurons notre gloire pour l'éternité » aurait dicté le Roi-soleil. Le bâtiment monumental quoi qu'il coûte est d'abord porteur de la gloire du monarque français car il exprime la pérennité de la nation, la puissance régaliennne. Pour argumenter le propos, on a choisi trois monuments parisiens pour des raisons d'économie et parce qu'il semble que les titulaires de l'État régalien cherchent à donner à ces monuments l'éclat de leur présence. Héritiers des attributs les plus symboliques — et idéologiques — de la royauté, les présidents de la Ve République, successeurs du général De Gaulle, George Pompidou d'abord tire gloire de cette autre machine de Marly qui chapeaute le quartier de Beaubourg, puis Giscard d'Estaing de cette lourde locomotive à vapeur qu'est la gare d'Orsay, enfin François Mitterrand de ce sabre de cristal tiré des Mille-et-une nuits qu'est l'Institut du Monde Arabe. *Chacun y a mis son énergie...*

⁴⁶⁰ MESTELAN, Patrick, *L'ordre et la règle*, Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, 2005, p. 107.

Ces trois représentations de la puissance publique française s'insèrent dans le vaste programme *Ignis mutât res*⁴⁶¹ qui vise à prévoir le grand Paris de 2040 en se fondant sur l'histoire et l'architecture, ici énergétique⁴⁶². La période 1970-1980⁴⁶³ est particulièrement pertinente pour élucider les mystères énergétiques de l'État. L'équipe HPCE essaie d'appliquer l'analyse du Diagnostic de Performance Énergétique, DPE, à chaque bâtiment dans la durée pour permettre d'évaluer, de façon synthétique, la consommation d'énergie totale d'un bâtiment ainsi que l'émission de CO₂ qui en résulte, par unité de surface et pour un usage « normal » sur une année. Le choix de DPE, est justifiée par l'ambition de comparer entre eux des bâtiments publics d'époque, de construction et d'usages rapprochés. Ainsi chaque bâtiment « présente des valeurs globales, représentatives de son fonctionnement énergétique, pour chacune des périodes de son histoire »⁴⁶⁴. Nous avons choisi, pour chaque bâtiment, de réaliser un DPE par période significative ; celle-ci est marquée par l'évolution d'au moins un des critères suivants : la réglementation, la technique (les équipements, l'enveloppe,...), les usages, l'architecture et les types d'énergie utilisés.

C'est donc par souci de synthèse que le DPE ramène les différentes valeurs aux dimensions en plan d'un bâtiment (en général la surface utile pour une activité tertiaire) et non à un volume (chauffé et/ou ventilé et/ou refroidi). « La consommation totale inclue en effet des consommations « ponctuelles » qui peuvent varier linéairement avec la surface d'un bâtiment: production d'eau chaude sanitaire, ascenseur(s), bureautique, etc. Il est cependant légitime de ramener une consommation relative à l'éclairage à une unité de surface ». Il est possible également, d'exploiter l'évolution de l'effort énergétique propre au chauffage, à la production d'eau chaude, à la ventilation, au refroidissement ou à l'éclairage.

L'ensemble des consommations utilisées pour les calculs sont celles mesurées par le fournisseur d'énergie et donc directement utilisées par les différents postes. Pour cela nous avons analysé les archives disponibles pour chaque bâtiment. Les données de consommations

⁴⁶¹ Programme de recherche interdisciplinaire international : *Ignis Mutat Res : Penser l'architecture, la ville et les paysages au prisme de l'énergie*, lancé, en 24 juin 2011, par le ministère de la Culture et de la Communication, le ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement et l'Atelier international du Grand Paris.

⁴⁶² le projet intitulé « Histoire et Perspective pour une Capitale Économe » , sous la direction scientifique d'Emmanuelle Gallo

⁴⁶³ Dans ce projet (HPCE) nous étudions, dans les limites de la ville de Paris, plusieurs bâtiments publics dans la période de (1770-2050).

⁴⁶⁴ Projet de recherche *Histoire et Perspective pour une Capitale Économe (HPCE), Des profondeurs des caves à la canopée, histoire et perspectives des politiques énergétiques d'une capitale économe 1770-2050*. IPRAUS - UMR AUSSER - CNRS 3329

énergétiques ou de DPE ne sont pas toujours disponibles. Pour chaque période significative d'un bâtiment, les moyennes annuelles sont établies sur le plus grand nombre d'années dont les consommations ont pu être retrouvées⁴⁶⁵.

Après une étude historique (contexte, architecture, construction, insertion urbaine), nous approfondirons en analysant les caractéristiques thermiques de chaque bâtiment. Nous avons accumulé des données qualitatives et quantitatives sur les consommations énergétiques des édifices choisis, sur la longue durée, afin de reconstituer, pour autant que ce soit possible, une succession d'évaluations de déperditions énergétiques de la manière dont elles sont évaluées actuellement. Nous tentons aussi de faire apparaître le lien entre les architectes et les ingénieurs dans chaque projet afin de comprendre l'état d'esprit des principaux décideurs quant aux problèmes énergétiques pendant et après la construction. L'objectif est en somme de faire une rétrospective de l'énergie dans le bâti francilien de manière à relever des originalités et des constantes pouvant être projetées dans les prochaines années.

⁴⁶⁵ Il faut préciser que pour un bâtiment public, un DPE est établi sur la moyenne des relevés de 3 années consécutives. Ce critère n'a pas toujours pu être respecté en raison d'absence de données suffisantes. Il s'agit là de bâtiments récents n'ayant pas connu d'années avec un écart à la moyenne des températures trop important, rapport intermédiaire HPCE.

Chapitre 7 :Le Centre Georges Pompidou 1971 - 1977

<u>Chapitre 7 :Le Centre Georges Pompidou 1971 - 1977</u>	214
<u>Caractéristiques architecturale du Centre Pompidou</u>	216
<u>Dispositions urbaines-environnement</u>	216
<u>Dispositions constructives - matériaux</u>	218
<u>Techniques de Construction : relation architectes - ingénieurs</u>	221
<u>Analyse thermique et solutions économiques</u>	223
<u>Rénovation et nouvelle vie</u>	227
<u>Le DPE du Centre Pompidou</u>	231
<u>Les sources formelles du Centre Pompidou</u>	233
<u>Conclusion</u>	236

En 1969, le Président de la République Georges Pompidou lance le concours international pour « héberger la culture dans un lieu moins institutionnel et moins traditionnel que les autres »⁴⁶⁶. Le jury, présidé par Jean Prouvé, choisit le projet de Renzo Piano, Richard Rogers et Gianfranco Franchini parmi 681 projets présentés. Un an après, la délégation du ministère du Centre Beaubourg est créée et prend le titre d'Établissement Public Constructeur du Centre Beaubourg⁴⁶⁷. Dirigé par Robert Bordaz, qui résout beaucoup les problèmes administratifs et techniques durant la période de construction.



Figure 57: Centre Georges Pompidou, <http://www.centrepompidou.fr>

L'histoire énergétique et architecturale du Centre Pompidou peut être décomposée en deux périodes séparées par les grands travaux de rénovation durant les années 1997-2000⁴⁶⁸. A ce moment-là, la remise à niveau technique des structures et façades s'accompagne du remplacement total des équipements de traitement de l'air et de production d'eau chaude par des centrales de meilleur rendement. A noter la décision de se raccorder au réseau CPCU, passant à proximité du Centre alors qu'à la construction, le choix s'était porté sur le tout électrique.

⁴⁶⁶ PIANO, Renzo. *Carnet de travail*, Paris : seuil, 1997, p. 38.

⁴⁶⁷ Robert Bordaz est un haut fonctionnaire français né en juillet 1908 à Argenton-Château (Deux-Sèvres) et mort le 22 mars 1996.

⁴⁶⁸ Pour l'analyse architecturale et énergétique du Centre Pompidou, nous nous sommes basé sur les archives du Centre Pompidou, ainsi que sur les ouvrages écrits par et pour Renzo Piano, Richard Roger et les articles dans les revues spécialisés.

Caractéristiques architecturale du Centre Pompidou

Piano explique l'originalité du projet dans son *Carnet de travail* : « Les organisateurs n'attendaient certainement pas une réponse aussi radicale. Beaubourg est une double provocation : une tarte à la crème lancé à l'académisme, mais aussi une parodie de l'imaginaire technologique de notre époque »⁴⁶⁹. Malgré son apparence technique, on ne peut considérer le Centre Pompidou comme un exemple de l'architecture *high-tech*. Pour Piano c'est la « machine célibataire », - nom d'un ready-made de Marcel Duchamp⁴⁷⁰ - dans la ville, voire un « bâtiment artisanal » car tout est fait sur mesure. L'utilisation de l'expression « machine célibataire » vient de l'étalage de métal coloré et de tubes transparents qui répond à une fonction urbaine, symbolique et expressive, et non à une fonction technique.⁴⁷¹

Avant d'analyser les caractéristiques thermiques et la consommation énergétique de ce bâtiment, nous allons aborder ces dispositions urbaines, environnementales et constructives. Ensuite, nous analyserons les relations entre équipe de conception et ingénieur dans la phase de construction.

Dispositions urbaines-environnement



Figure 58 : Plan de localisation géographique et thermographique du bâtiment. Sources : TH1, APUR, Google earth et cadastre de Paris.

⁴⁶⁹ *Ibid.*, p. 40.

⁴⁷⁰ L'expression « machine célibataire », forgée vers 1913 par Marcel Duchamp pour désigner la partie inférieure de son Grand Verre, s'applique par extension à un ensemble d'œuvres nées dans le creuset du mouvement dada (Man Ray, Picabia, Hausmann, Ernst). Elle désigne des moteurs incluant l'élément humain, des mécanismes anthropomorphiques et impossibles, conçus comme autant de rouages d'un désir nécessairement irréalisé et solitaire. BARGUS, Cécile. « Une histoire à l'envers des machines célibataires. De Tinguely à Duchamp et vice-versa », *Le son des rouages Représentations musicales des rapports homme-machine au 20^e siècle*, Colloque EHESS / CRAL, 18-19 mai 2007

⁴⁷¹ PIANO, *loc. cit.*

Le Centre Georges Pompidou, est implanté selon un axe nord-sud sur le vaste plateau Beaubourg, entre les rues Saint Martin et du Renard. L'édifice occupe la moitié de l'espace, dégagant ainsi une vaste esplanade nommée la « Piazza ». Chaque niveau du bâtiment comporte un plateau de 7 500 mètres carrés. L'édifice est aménagé en deux parties : trois niveaux d'infrastructures et sept niveaux de superstructure en verre et en acier comprenant la terrasse et la mezzanine. Ce centre, comme l'ont imaginé Piano et Rogers, est un lieu de « contact : lieu de promenade, de rencontres inattendues, de surprise et de curiosité ». C'est un village médiéval, comme le conçoit Piano qui explique dans son *Carnet de Travail* :

« Beaubourg est tout le contraire du modèle technologique de la ville industrielle : c'est un village médiéval de 25 000 personnes – celles qui le fréquentent en moyenne chaque jour. Toute la différence réside dans son développement en hauteur : son plan est vertical, et non horizontal. Les places se superposent et les rues sont transversales »⁴⁷².

Plusieurs études sont faites dans les années 1980s afin d'évaluer les effets du Centre sur le quartier et, plus généralement, sur la ville et son image. Un de ces enquêteurs est Michel de Certeau⁴⁷³. Selon lui, Beaubourg, « obéit à un modèle urbain, [...] c'est un laboratoire de l'urbanité publique contemporaine, [...] un aquarium de la métropole », bref, c'est une « réussite », non seulement pour ce qu'il offre comme activités, mais aussi comme facteur d'urbanité dans un quartier chargé comme ce quartier. Michel de Certeau explique que l'originalité du centre Pompidou est sa place « la Piazza » qui assure la relation avec la ville. La Piazza « appartient au bâtiment, fait corps avec lui et offre des activités culturelles aux gens à l'extérieur de bâtiment ». La provocation de Beaubourg ne réside pas seulement dans sa forme ou dans l'usage des matériaux et des couleurs de l'édifice mais encore dans sa programmation même, qui combine les circulations tant verticales qu'horizontales, et suscite la transparence.

« Lorsqu'on se trouve sur les escaliers roulants, on est déjà dans le bâtiment, et on est encore dehors. Tandis que l'on monte lentement, on passe de la vision de la place à celle du quartier, et à celle de la ville. C'est, sans aucun doute, l'une des découvertes de Beaubourg »⁴⁷⁴.

La façade occidentale profite d'un ensoleillement important grâce à la vaste *Piazza*. Or, les caractéristiques de cet ensoleillement n'ont pas prises en compte dans la conception thermique du bâtiment.

⁴⁷² PIANO, Renzo. *Carnet de travail*. Paris : seuil, 1997, p. 40.

⁴⁷³ Michel de Certeau (mort en 1986) a été chargé en 1983 par Jean Maheu, président du Centre, d'une mission d'expertise sur les activités du Centre dans les domaines de la littérature, de la philosophie et des sciences humaines. « Le sabbat encyclopédique du voir », *Esprit*, février, 1987.

Dispositions constructives - matériaux

Conçu comme une vaste enveloppe dont la flexibilité interne est assurée par les équipements transformables et mobiles, cette structure flexible exige la libération de grands espaces intérieurs. Les architectes décident de rejeter les trois éléments fixes (structure, éléments organiques et circulation) à l'extérieur du bâtiment, libérant de grands plateaux — nous sommes à la fin des espaces ouverts sous surveillance. Ils regroupent, côté piazza, les circulations, l'information, le spectacle et les entrées du public, alors que les services, les fluides, les marchandises et les entretiens sont déployés rue du Renard⁴⁷⁵. Tous ces éléments repoussés à l'extérieur donnent au bâtiment l'aspect d'un navire. Il facilite aussi l'entretien des équipements grâce au fait qu'ils restent apparents à l'extérieur comme à l'intérieur du bâtiment.

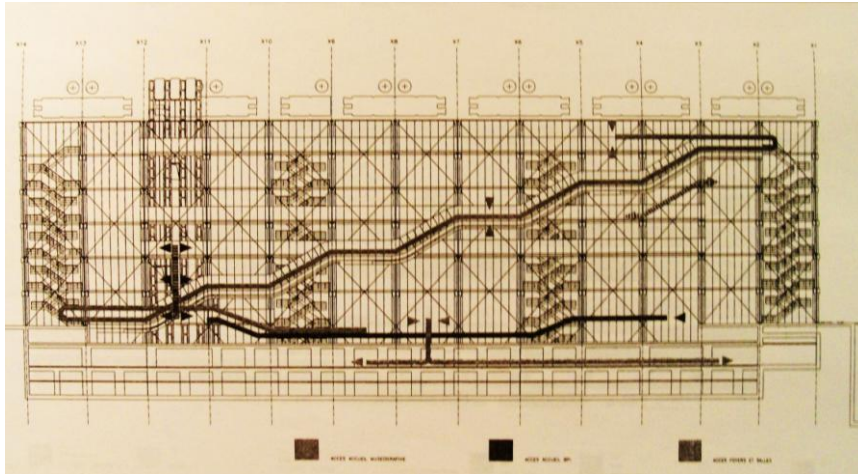


Figure 59 : Façade sud, comité financier 22 avril 1998, 2000 046/054, archives du Centre Georges Pompidou.

L'infrastructure occupe tout le terrain de la place Beaubourg. Elle est divisée en deux moitiés correspondant à des usages différents. La première, située sous le bâtiment, comporte trois niveaux accueillant des locaux techniques ou de service. La seconde, disposée sous la Piazza, comprend six demi-niveaux à usage de stationnement. L'ossature de cette infrastructure en béton armé est du type poteaux-dalles nervurées coulées *in situ*.

⁴⁷⁴ *Ibid.*

⁴⁷⁵ PIANO, Renzo. ROGERS, Richard. « Le Centre Georges Pompidou ». In : *L'Architecture d'aujourd'hui*, n° 189, février, 1977, p. 55.

La structure principale est composée de 14 cadres en acier identiques, soit 13 baies en tout. La structure métallique mesure 166 m de long, 60 m de large, 42 m de haut⁴⁷⁶. Elle se compose de poteaux (des tubes en acier moulé fabriqués chez Pont à Mousson à Fumel). Le diamètre extérieur de ces poteaux est de 850 mm dont l'épaisseur varie de 4 à 8,5 cm pour supporter une charge de 3 000 T/m²⁴⁷⁷ (Figure : 4). Toute la structure du bâtiment est ouverte. Les architectes veulent avoir un aspect dentelle avec leurs façades légères⁴⁷⁸. Indépendamment des contraintes communes à toutes les façades légères, celles du Centre Georges-Pompidou doivent pouvoir s'adapter à d'importants mouvements résultant notamment de la grande portée des poutres des portiques. L'espace compris entre deux poteaux est divisé selon une trame de 1,60 m par des fers en U disposés à l'extérieur du bâtiment et précisément raidis par un système destiné à assurer la stabilité de la façade et à reprendre les pressions dues au vent (figure : 5). Ces éléments en fer sont fixés en tête par un pivot permettant le mouvement dans le plan de la façade et éclissés en pied sur l'attache du montant correspondant du niveau inférieur⁴⁷⁹.

Sur la face interne de ces montants sont appliqués des éléments de remplissage soit de polyglass clair en partie courante, soit de polyglass pare-flamme *Draveil* ou de panneaux coupe-feu *Pical* pour tous les points participant au système de protection contre l'incendie. Ces éléments de remplissage sont maintenus par deux cadres métalliques ayant respectivement une hauteur de 2,70 m pour celui en haut et de 4 m pour celui en bas. Ces châssis assemblés mécaniquement forment un ensemble monobloc dont la traverse supérieure est renforcée et fixée en son centre sur un axe scellé dans la rive du plancher. En dehors de l'éclairage public classique des rues environnantes, les architectes Piano et Rogers, lors de la conception du Centre, prolongent le concept de la transparence du bâtiment à sa mise en lumière : la nuit, le bâtiment éclairé de l'intérieur est perçu au-delà de la Piazza.

⁴⁷⁶ *Ibid.*, p. 57.

⁴⁷⁷ NATHAN, Silver. *The making of Beaubourg: a building biography of the Centre Pompidou*, Paris: Cambridge, Mass, 1994, 206 p.

⁴⁷⁸ « Le Centre Georges-Pompidou? Analyse d'un bâtiment », *TDC 619-620 Regards sur trente ans d'architecture*, 27 mai 1992, pp. 16-18.

⁴⁷⁹ *Ibid.*

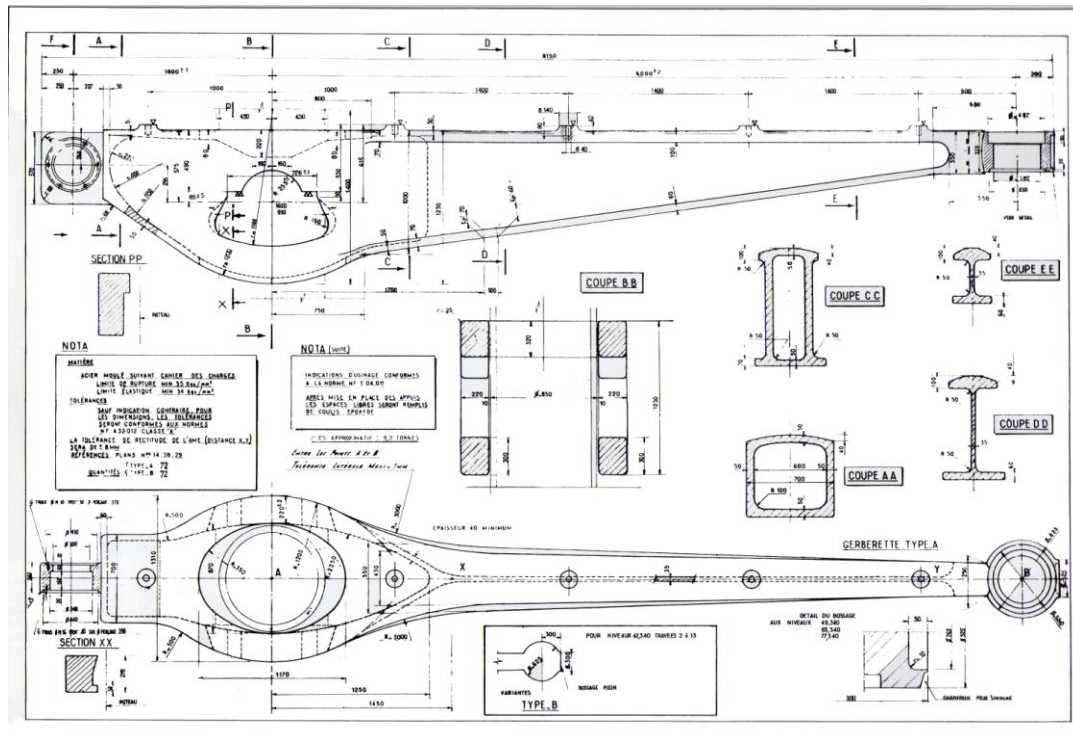


Figure 60: Système constructifs du Centre Pompidou, Renzo Piano, Richard Rogers. Du plateau Beaubourg au Centre Georges Pompidou, Centre Georges Pompidou, 1987, Paris

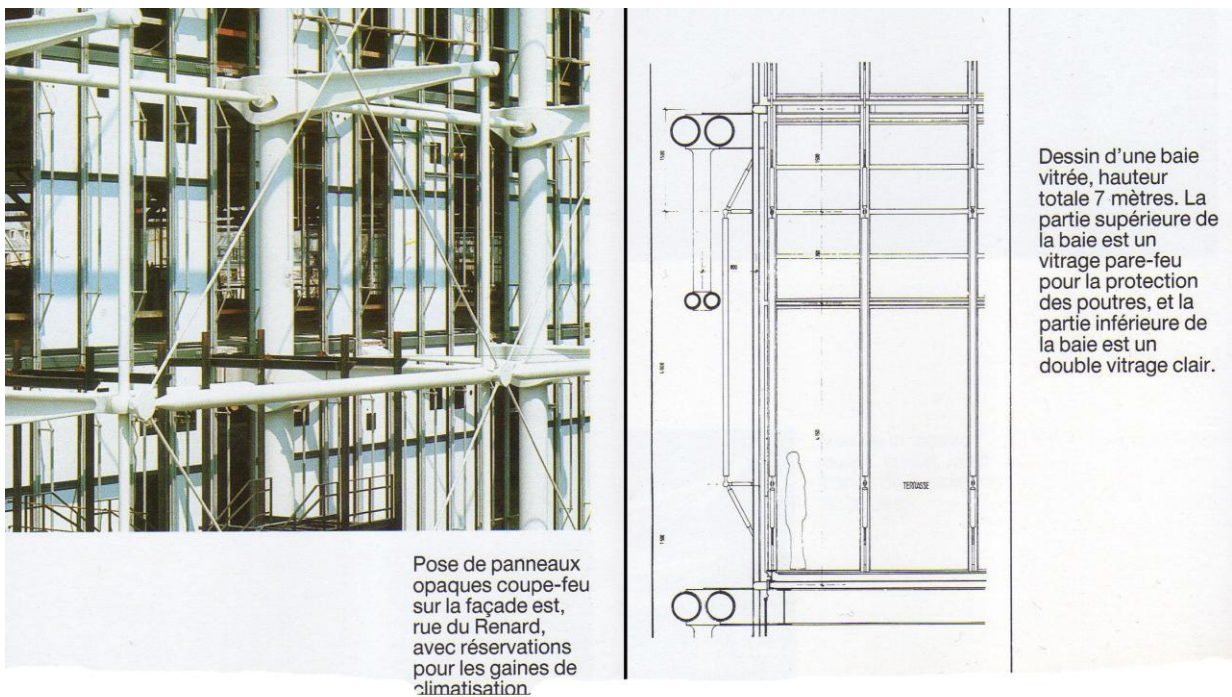


Figure 61 : Menuiseries avec leurs raidisseurs des baies vitrées au niveau 5, Renzo Piano, Richard Rogers. Du plateau Beaubourg au Centre Georges Pompidou, Centre Georges Pompidou, 1987, Paris

Techniques de Construction : relation architectes - ingénieurs

Les trois phases de projet sont suivies au même temps par les équipes de conception, de structures et des équipements mécaniques grâce au partenariat avec les ingénieurs Ove Arup, Peter Rice et Tom Barker⁴⁸⁰. Architectes et ingénieurs travaillent ensemble à toutes les phases de projet : la conception, la réalisation des moindres détails et la conduite du chantier. Cette démarche de travail pose un problème en France où l'habitude est de considérer l'architecte comme « l'homme de croquis, le génie qui dessine l'esquisse. A d'autres, après lui, de s'occuper de la réalisation »⁴⁸¹. En revanche, dans les pays anglo-saxons, toutes les phases du projet doivent être intégrées dès les études préalables. C'est de cette manière que le groupe réalise le Centre de Beaubourg.

La complexité de cet ouvrage rend inefficace le classique schéma d'intervention (architecte, maître d'ouvrage, utilisateur). Elle implique la mise en place d'un processus dynamique d'organisation, dite « programmation », permettant tout à la fois l'analyse systématique des besoins, leur projection dans l'avenir et leur traduction dans un langage accessible à tous les intervenants. La programmation commence dès 1970 afin de remettre aux candidats au concours d'idées un document qui définit à la fois les objectifs généraux du projet et précise la répartition des surfaces attribuées à chaque type d'activités ainsi que les grandes lignes du schéma fonctionnel d'ensemble. Dans le projet de Piano et Rogers, « le bâtiment est conçu essentiellement comme une vaste enveloppe dont la flexibilité interne est assurée par les équipements transformables et mobiles »⁴⁸². En raison de l'interaction entre les différents équipements du projet, une « bonne harmonie » au sein de l'équipe de maîtrise d'œuvre est mise en place. Cela nécessite une approche globale qui associe tous les intervenants, de la conception à la réalisation, qu'il s'agisse des utilisateurs qui animeront les activités, du maître d'ouvrage qui préfigure le gestionnaire des services communs du Centre, du maître d'œuvre et de l'entreprise.

Les ingénieurs jouent un rôle important dans la conception du Centre Pompidou. La construction métallique est très complexe et c'est le rôle des ingénieurs de prouver qu'elle va tenir. Renzo Piano explique à Bordaz dans un entretien comment Peter Rice, l'ingénieur

⁴⁸⁰ « Le Défi de Beaubourg ». In : *Architecture d'Aujourd'hui*, n°189, 1977, p. 54

⁴⁸¹ *Ibid.*

⁴⁸² « Le centre national d'art et de culture Georges Pompidou ». In : *Construction*, TXXX, n° 9, septembre, 1975, p. 11.

principal du projet, réussi après des longs présentations à convaincre les industriels français que la structure va tenir.

« Un jour il a dû prouver que le bâtiment allait tenir, devant un homme très capable, le représentant de l'assurance dont il était absolument indispensable d'obtenir l'accord. Cet homme remarquable a discuté avec une passion extraordinaire les données mathématiques et Peter Rise lui a prouvé par les mathématiques que le bâtiment tiendrait. En outre, il avait le sentiment que du moment que ses calculs étaient juste le bâtiment serait lui-même très beau. Il avait cette conviction »⁴⁸³.

Les ingénieurs des équipements mécaniques travaillent aussi avec la même efficacité. L'architecte Abbott, avec l'ingénieur Tom Barker, chef des équipements mécaniques chez Arup, coordonnent le chantier avec les équipes du second œuvre, l'électricité, la ventilation et la climatisation⁴⁸⁴. Prévoyant que l'équipement mécanique prend un tiers du budget et un quart du bâtiment de chantier, Abbott négocie avec Barker les besoins de l'immeuble, la division de l'espace. Au début, les réponses techniques de Barker sont vagues afin qu'ils puissent comprendre les tailles qui doivent être impliquées. Comme pour le système de climatisation, chaque équipe commence à étudier la ventilation et la circulation d'air froid, puis, traite en détail plomberie, réseaux électriques et sécurité incendie. Tout doit être mené en parallèle pour éviter les conflits durant la phase de construction.

Après les réunions, les architectes font des croquis et des axonométriques pour traduire ce qu'ils ont décidé. Ils les présentent ensuite à l'interprofessionnelle. Les esquisses des architectes sont alors révisées et parfois, des maquettes d'études sont faites sur place. Jusqu'à qu'ils soient confiant des résultats, l'équipe d'Abbott commence ensuite à faire les plans détaillés. Dans le cadre de la conception de Beaubourg, l'équipe a fait environ cinq révisions complètes des dessins. Leur but principal n'est pas la construction, mais la vérification⁴⁸⁵. L'image globale du bâtiment n'est pas une préoccupation pour la plus part des entrepreneurs ; ils veulent avoir les réponses de leurs problèmes spécifiques : les tubes, les conduits, etc. Pourront-ils entrer dans le bâtiment ? Seront-ils à la bonne dimension ? À quoi et comment les connecter ? À la phase de conception du projet, les équipes de fabrication des équipements mécaniques et les fournisseurs vient travailler au sein du bureau d'études de Beaubourg. Ils sont coordonnés par Tom Barker, Abotte et l'équipe japonaise (pour l'acier) ainsi que des

⁴⁸³ BORDAZ, Robert. *Entretiens robert Bordaz, Renzo Piano*. Paris : Cercle d'Art, 1997, p. 20.

⁴⁸⁴ Silver, NATHAN. *The making of Beaubourg: a building biography of the Centre Pompidou*. Paris: Cambridge, Mass., 1994, p. 145.

⁴⁸⁵ *Ibid.*, p. 146.

représentants d'Otis. On compte quatre fournisseurs de climatisation, deux fournisseurs de plomberie, deux d'électricité⁴⁸⁶, auxquelles s'ajoutent les responsables des tours de refroidissements et de vitrage.

Analyse thermique et solutions économiques

Après la crise énergétique, le gouvernement met en place des mesures relatives à la réalisation d'économies d'énergie dans les bâtiments occupés par l'administration et les services publics⁴⁸⁷. Une lettre de Gabriel MURAT, le directeur du bâtiment et de la sécurité, à Jean MAMEU, le président de CNAC, daté de 27 mai 1986⁴⁸⁸, explique que « la recherche d'économies en matière énergétique a toujours été et continue à être un souci permanent des services chargés de la maintenance et de l'exploitation ». Pour sa part, Monsieur Million,⁴⁸⁹ dirige une équipe pour analyser les consommations énergétiques du bâtiment et pour trouver les meilleures solutions afin de diminuer celles-ci⁴⁹⁰.

Le bâtiment occupe 16 000 m² au sol (sans parvis et parking), 85 000 m² de surface utile (avec l'IRCAM), soit 380 000 m³ d'intérieurs chauffés et 280 000 m³ de sous-sols ventilés. Il est ouvert 312 jours par an de (9 h à 22 h pour le personnel, 12 h à 22 h pour le public) ce qui correspond à 2 000 heures de programme chauffage par hiver. Sa fréquentation est de l'ordre de 8 millions d'entrées par an, soit 25 000 par jour, avec 2 heures de séjour moyen ; environ 5 000 occupants en moyenne, plus un personnel de 1 000 personnes⁴⁹¹. Le chauffage dans ce bâtiment est entièrement électrique. Un rapport de diagnostic thermique du Centre fait par l'ADEME montre les trois types principales d'usages de cette énergie : électricité spécifique (éclairage, escalators, ascenseurs, appareillages divers non liés à la

⁴⁸⁶ *Ibid.*, p. 148.

⁴⁸⁷ Le décret du 22 octobre 1979 limite la température de chauffage à 19 °C. La circulaire du 26 octobre 1979 du premier Ministre, concernant le renforcement des mesures d'économie d'énergie dans les bâtiments occupés par l'administration. « Textes officiels », *Le Moniteur*, 29 oct. 1979, p. II-III.

⁴⁸⁸ Archive Centre Georges Pompidou, 92038/174, DBS direction, économie d'énergie 1983-1987.

⁴⁸⁹ Le directeur du bâtiment et de sécurité du Centre Georges Pompidou en 1979.

⁴⁹⁰ Dans une note de service au personnel de la D.B.S datée du 25 juin 1979, M. Million nomme les responsables chargés de collecter les observations et de faire les recherches sur les économies d'énergie comme suit : M. Prinzie pour tout ce qui touche à la climatisation, M. Charlier, pour tout ce qui touche l'éclairage et M. Manin pour tout ce qui ne dépend pas des deux utilisations spécifiques. Pour cela, un examen systématique des données et propositions est fait tous les lundi matin au cours de la réunion de direction pour déterminer les mesures à prendre ou les dispositifs à mettre en place sous la conduite de M. Nouveau. Archives Centre Georges Pompidou, 92038/142, J. Millon-DBS 1977 - 1992.

⁴⁹¹ BERNARD, P.A., LERVAT, J.P., *Rapport de l'analyse énergétique du Centre Georges Pompidou à Paris*. 23/12/1982, Cabinet Bernard, p. 23, p. 3. Archives du Centre Georges Pompidou, 92038/174, DBS direction, économie d'énergie 1977-1988.

production ou à la distribution du chaud et du froid), production de chaud et de froid (de manière centralisée à l'aide de pompes à chaleur et en appoint de chaudières électriques, de manières décentralisée à l'aide de batteries terminales de réchauffage et de plinthes chauffantes), la distribution (de l'air à l'intérieur du bâtiment, de l'eau chaude et de l'eau froide allant alimenter les différentes centrales de climatisation)⁴⁹². Le diagramme suivant montre la consommation de chaque type d'usage en 1984.

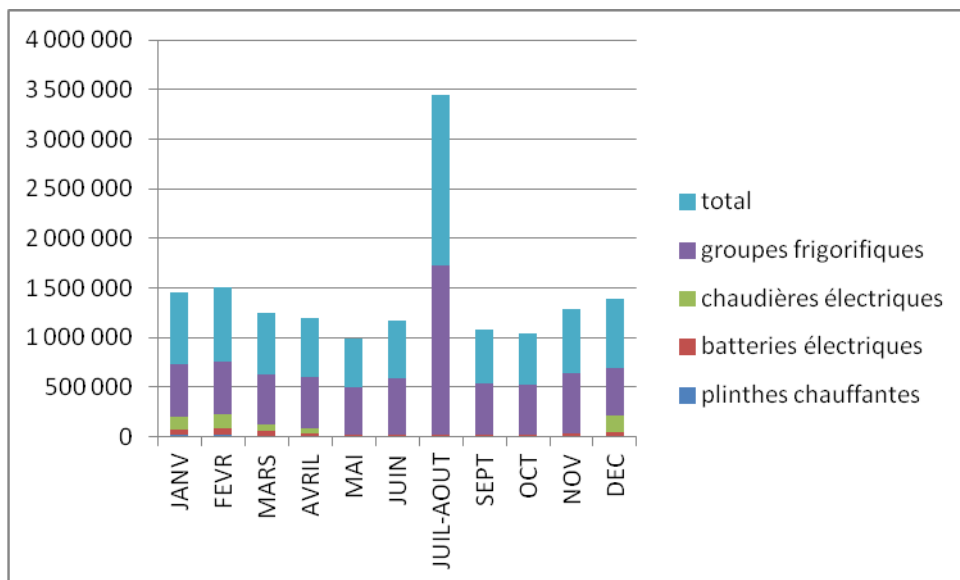


Figure 62 : Diagnostic thermique du Centre Georges Pompidou, Rapport : Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie, mars 1986.

Le rapport d'analyse énergétique en 1982 montre que les 500 000 m³/h d'air correspondent à 83 m³/h/personne est bien plus élevé que le taux maximum légal qui est de 30 m³/h/personne. Par contre, les températures contrôlées sont réglementaires⁴⁹³. L'éclairage est assuré par des tubes fluorescents de 65 W sur une trame de 12,8 m x 48 m. En ce qui concerne les parois horizontales et verticales, le coefficient rendant compte de d'isolation thermique du bâtiment K (ou maintenant U) est de 2 W/m²°C, pour les doubles vitrages le K est de 3 W/m²°C⁴⁹⁴. Nous notons aussi que les apports solaires n'ont pas pris en compte dans la première vie du bâtiment⁴⁹⁵.

⁴⁹² *Diagnostic thermique du Centre Georges Pompidou, Rapport : Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie, mars 1986.*

⁴⁹³ BERNARD, P.A. LERVAT, J.P. *Rapport de l'analyse énergétique.... Op, cit, p. 14.*

⁴⁹⁴ *Ibid.*, p 6.

⁴⁹⁵ *Ibid.*,

L'analyse énergétique du cabinet Bernard montre que le bâtiment consomme 68 kWh/m³, trois fois plus que d'autres bâtiments de même fonction et de même taille analysés par le même cabinet. Seul le Louvre – non analysé par eux – peut donner une comparaison significative⁴⁹⁶.

Tableau 8: comparaison des consommations électriques entre différents grands établissements

Nom	type d'installation	consommation annuelle ©	surface m2 (S)	C/S
CNAC-GP	entièrement climatisé tout électrique	33.7 millions kwh	103000	327
Institut Gustave Roussy (Villejuif)	entièrement climatisé tout électrique	22.8 millions kwh	80000	285
CHU de Bicêtre	partiellement climatisé chauffage urbain	12.6 millions kwh	125000	100.8

En effet, avant 1973, lors de la conception et la construction, les questions énergétiques n'étaient pas prioritaires. Le pétrole coule alors à flot et l'électricité ne coûte pas cher. Des études comparatives sont menées dans les années qui suivent 1978. Ces études précisent la répartition des consommations énergétiques du Centre. Pour l'année 1984, la répartition de la consommation selon les usages est figurée sur le schéma suivant : électricité spécifique 41%, distribution 31% (infrastructure 17%, superstructure 14%), production 24% et l'IRCAM (hors production) 4%.

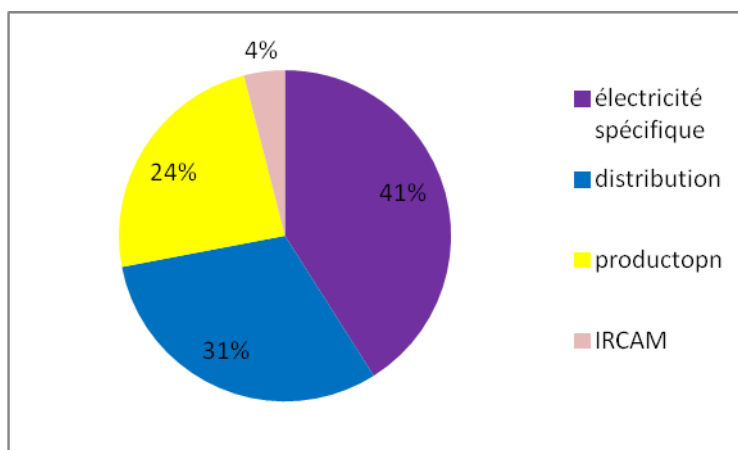


Figure 63 : Répartition de la consommation énergétique du Centre Pompidou. Source : Diagnostic thermique du Centre Georges Pompidou, Rapport : Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie, mars 1986.

Dès 1978 la consommation d'énergie électrique baisse du quart. Or, les efforts pour réduire la consommation sont contrebalancés par une évolution à la hausse du prix moyen du

⁴⁹⁶ *ibid.*, p 12.

kWh conduisant à l'évolution de la facturation annuelle présentée ci-dessous⁴⁹⁷. Cette modification est vraisemblablement due à une action importante des services techniques.

Tableau 9: Les évolutions de consommation ramenées à la consommation de 1978 prise comme année de référence, archives du Centre Georges Pompidou⁴⁹⁸.

1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
- 3,97 %	- 15,48 %	- 27,44 %	- 27,61 %	- 28,37 %	- 29,69 %	- 25,13 %

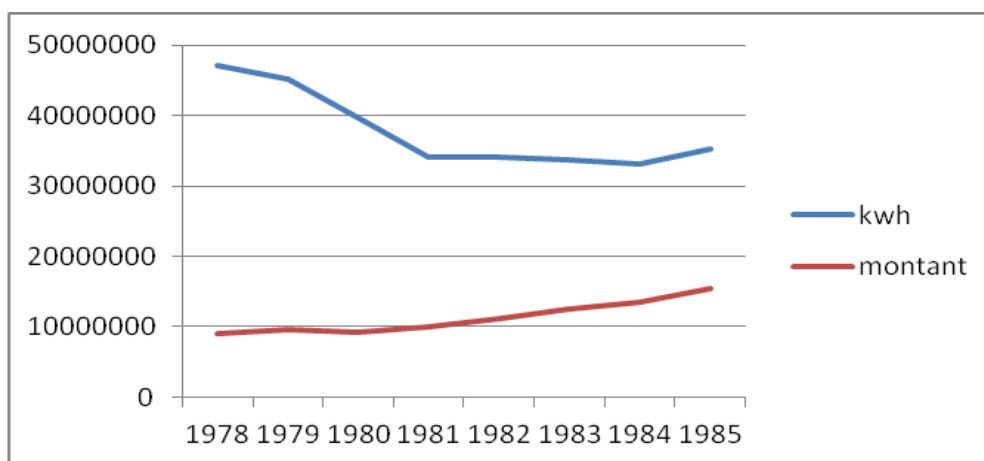


Figure 64: « note à l'attention de monsieur Jean MAHEA, le 27 mai 1986 », archives du Centre Georges Pompidou, 92038/174, DBS direction, économie d'énergie 1977-1988, p. 2 bis.

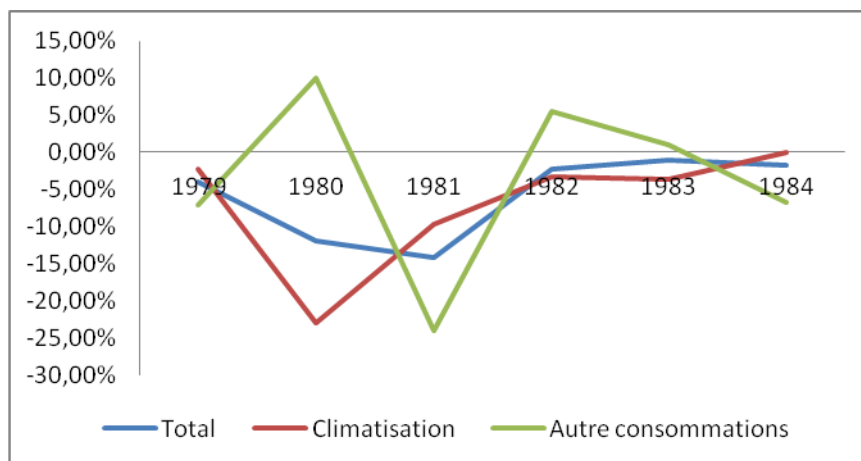


Figure 65 : L'évolution des consommations par type d'usage, archives du Centre Georges Pompidou, « Diagnostic thermique du Centre Georges Pompidou », ADEME, mars 1986.

Plusieurs solutions permettent ces économies. Une politique d'économie d'énergie concernant l'éclairage est mise en œuvre en 1980, permettant une réduction de consommation de 11,3 %. Cette politique consiste dans l'extinction des sources d'éclairage jugées non

⁴⁹⁷ *Ibid.* p. 2 bis.

⁴⁹⁸ Note à l'attention de M. Jean Mahea, le 27 mai 1986, p. 5, p. 2, archives Centre Georges Pompidou, 92038/174, DBS direction, économie d'énergie 1977-1988.

indispensables durant les heures de non occupation ce qui conduit à réduire la puissance utilisée de 710 kW à environ 100 kW⁴⁹⁹. Le renouvellement d'air est supprimé la nuit à partir de 1980 et réduit à partir de 1983⁵⁰⁰. Ces efforts conduisent à une économie de 25 % de consommation énergétique par rapport à la consommation de 1978.

De son côté, l'AFME propose au Centre Pompidou un certain nombre d'investissements conduisant à des économies d'énergie telles que les « temps de retour » estimés entre 2,5 et 3,5 ans pour des investissements compris entre cinq et dix millions de francs. Ces propositions d'investissements portent sur l'aménagement de la production électrique, des modifications de la distribution d'air en superstructure, des réductions des débits d'air neuf⁵⁰¹. Des améliorations sur certaines centrales de climatisation en sous-sols et des modifications de l'éclairage (avec des tubes fluorescents) sont mises en place. Le cabinet Bernard conclut que les solutions afin de réduire les besoins du bâtiment par l'amélioration de son isolation sont vaines, en raison des grands volumes du bâtiment. Toutefois, si le coefficient de transmission des parois n'est pas bon, il est largement compensé par la compacité du bâtiment qui conduit à un coefficient volumique global intéressant égal à 0,15 W/m³/C° bien en dessous du seuil règlementaire de l'époque égal à 0,30 W/m³/C°⁵⁰².

Rénovation et nouvelle vie

En raison d'un taux de fréquentation exceptionnel et inattendu, le Centre vieillit très vite et il faut intervenir⁵⁰³. En 1994, des travaux sont réalisés, concernant à la fois la place et les trottoirs. Les travaux concernent également la remise à niveau technique des structures extérieures du bâtiment, c'est-à-dire tous les éléments métalliques ou en verre, des façades ou des tubulures⁵⁰⁴. Les travaux de rénovation sont longs et complexes parce que le bâtiment a été conçu à une époque de croissance économique. Les matériaux sont devenus chers et

⁴⁹⁹ Note à M. Million de la part de GESTEC, Taxe municipale sur l'éclairage, Paris, le 2 janvier 1980, archives Centre Georges Pompidou, 92038/174, DBS direction, économie d'énergie 1977-1988.

⁵⁰⁰ Bernard P.A., Lervat J.P., « Rapport de l'analyse énergétique du Centre Georges Pompidou à Paris », 3/12/1982, Cabinet Bernard, p. 19, archives Centre Georges Pompidou, 92038/174, DBS direction, économie d'énergie 1977-1988.

⁵⁰¹ Il se trouve que cette solution était impossible avec l'installation du Centre Pompidou à l'époque de l'étude, *Idem.*, p. 3.

⁵⁰² *Ibid.*

⁵⁰³ Le Centre Georges Pompidou est prévu pour 7 000 visiteurs par jour maximum mais très vite, le Centre accueille environ 25 000 personnes par jour. Cet afflux énorme de visiteurs entraîne la dégradation du bâtiment.

l'édifice a été peu entretenu pendant les dix premières années⁵⁰⁵. Pendant trois années comprises entre 1997 et 2000, le bâtiment est vidé de ses équipements pour ne conserver que la structure, les façades et les canalisations aérauliques. En façade, on prévoit un nettoyage à l'eau à ultra-haute pression et une remise en peinture. La mise en sécurité incendie de la structure est traitée par un moyen passif. Les poteaux métalliques principaux, autrefois remplis de saumure et équipés de pompes de circulation, sont vidés et peints avec un complexe à cinq couches, dont une peinture intumescente. L'ensemble de l'équipement de climatisation et de production d'eau chaude sanitaire est renouvelé. Il associe alors des pompes à chaleur, un groupe frigorifique et un raccordement au réseau de chauffage urbain de la CPCU, qui passe à proximité, pour la production d'eau chaude sanitaire⁵⁰⁶. Or, à ce moment-là le kWh CPCU coûte 0,19 F (HT), soit le même prix que le kWh EDF heures creuses et 1/3 de moins que le kWh EDF heures pleines. Comme la consommation est maximale de jour « le passage à la CPCU représenterait un gain de 50 000 à 100 000 francs par année »⁵⁰⁷. À cela s'ajoute la mise en place d'une régulation numérique pour traiter les ambiances par zones. Le but de ces dispositions est de diviser par deux la consommation d'électricité du Centre⁵⁰⁸.

Parallèlement à ces travaux le gros problème reste l'urgence de la rénovation intérieure : rénover les salles, la climatisation et les escalators. Malgré les efforts faits pour trouver des financements supplémentaires pour le renouvellement des façades, les parois vitrées donnant

⁵⁰⁴ RAOUX, François. « Beaubourg devra faire relâche ». In : *Le Quotidien de Paris*, 29 janvier 1994.

⁵⁰⁵ *Ibid.*

⁵⁰⁶ JOFFROY, Pascale. REINTEAU, Bernard. Beaubourg le second souffle. En avant-première, visite du Centre Pompidou après transformation, In : *Le Monde*, 3 décembre 1999, pp. 114-117.

⁵⁰⁷ Bernard P.A., Lervat J.P., *Rapport de l'analyse énergétique du Centre Georges Pompidou à Paris, 23/12/1982*, Cabinet Bernard, p. 22-23, archives du Centre Georges Pompidou, 92038/174, DBS direction, économie d'énergie 1977-1988.

⁵⁰⁸ Dans la description de nouvelle système de ventilation, c'est indiqué : Pour le soufflage : l'amenée d'air dans les locaux est assurée par un aérotherme fonctionnant exclusivement avec de l'air neuf et équipé d'une batterie chauffante électrique. Il assure un renouvellement d'air de 3 volumes par heure par local. La température de soufflage de l'aérotherme est constante en hiver à 18°C. Le complément de chauffage dans les locaux pour combattre les déperditions par les parois sont réalisées par des convecteurs électriques. Les gaines de soufflage sont en tôle acier galvanisé calorifugées. Finalement, la prise d'air neuf est raccordée sur une trémie existante située en file 8/E. L'extraction de l'air dans les locaux se fait par un ventilateur centrifuge en caisson à raison de 3 volumes/heure par local. Le rejet d'air se fait dans le volume du parking autocars qui est ventilé en permanence. Les gaines d'extraction sont en tôle acier galvanisé avec une ou deux bouches par local. Le désenfumage des locaux se fait par l'installation existante du parking autocars (10 vol/h). Les cloisons des cantonnements ne sont pas traitées coupe-feu 2 heures. « Réaménagement intérieur du Centre Georges Pompidou, Centre Georges Pompidou, Dossier cantonnement, courriers techniques », 2000W046/054 Aménagement, archives du Centre Georges Pompidou.

sur la place sont conservées⁵⁰⁹. Ces nouveaux travaux conduisent tout de même à une économie d'énergie de 32 % par rapport à celle de l'année de la construction.

Dès 2012, le bâtiment connaît des grands travaux de rénovation du système de climatisation conduit par DALKIA. « Ces travaux de performance énergétique ont commencé en juin 2012 et s'achèveront en 2015. Dalkia remplacera progressivement les treize centrales de traitement d'air actuellement en fonction sur le toit du bâtiment par des nouvelles centrales équipés de pompes à chaleur air/air »⁵¹⁰ qui constituent une technologie performante et durable. Ces nouveaux équipements diffuseront l'air prélevé à l'extérieur ou recycleront l'air intérieur. Les performances en matière d'efficacité énergétique du bâtiment permettent au CNAC de réduire de 20% sa consommation d'énergie et d'éviter le rejet de 500 tonnes de CO₂ par an.

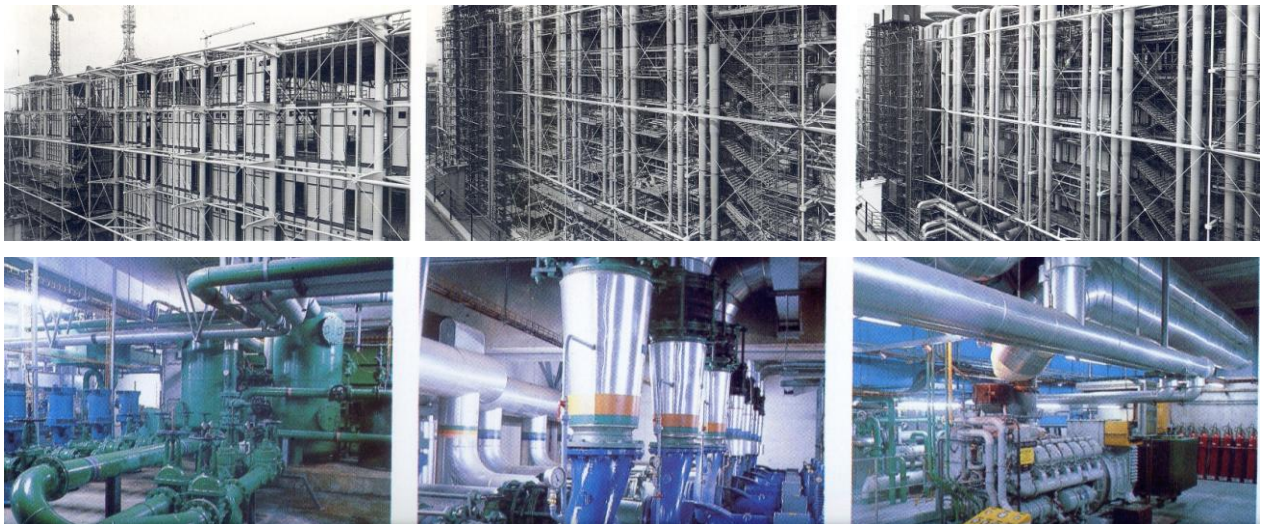


Figure 66 : élément de façade et équipements de production d'énergie se situent en sous-sol pour des questions de poids, d'accessibilité et de vibration. PIANO, Renzo. ROGERS, Richard, *Du Plateau Beaubourg au Centre Georges Pompidou*, Paris, Centre George Pompidou,

⁵⁰⁹ *Idem*

⁵¹⁰ Une climatisation plus innovante et moins chère pour le Centre Pompidou, Communiqué de presse : DALKIA Améliore la performance énergétique et environnementale du Centre Pompidou.

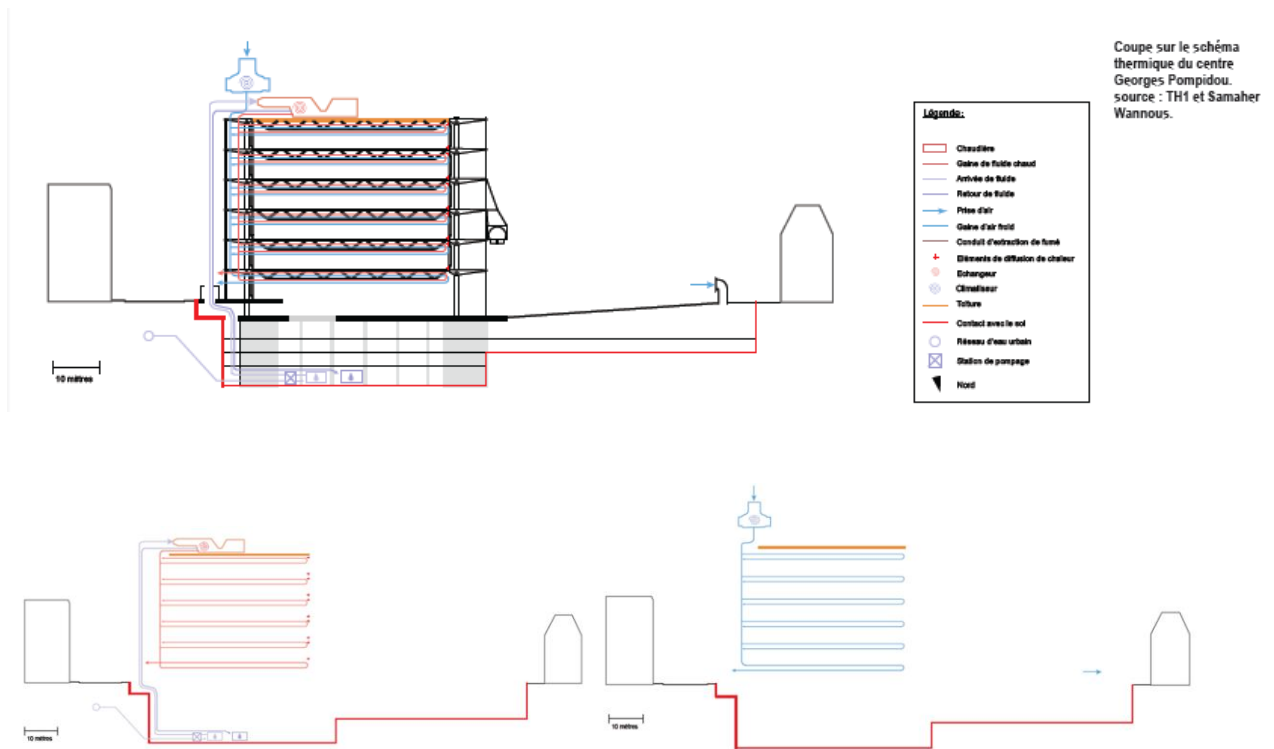


Figure 67: Coupe sur le schéma thermique et coupe sur le système de froid du Centre Pompidou, TH1 et Samaher Wannous

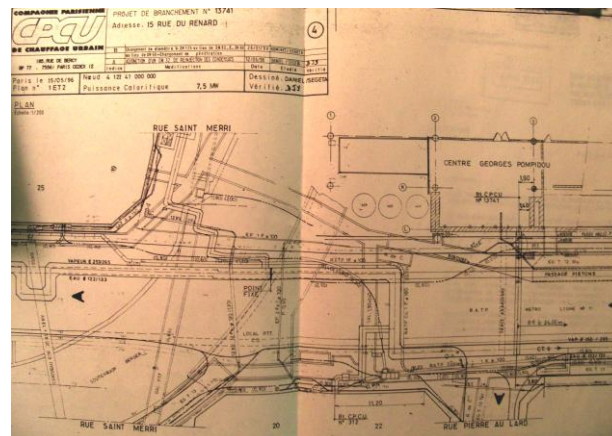


Figure 68 : Alimentation du réseau CPCU pour Centre Georges Pompidou, archives du Centre Georges Pompidou

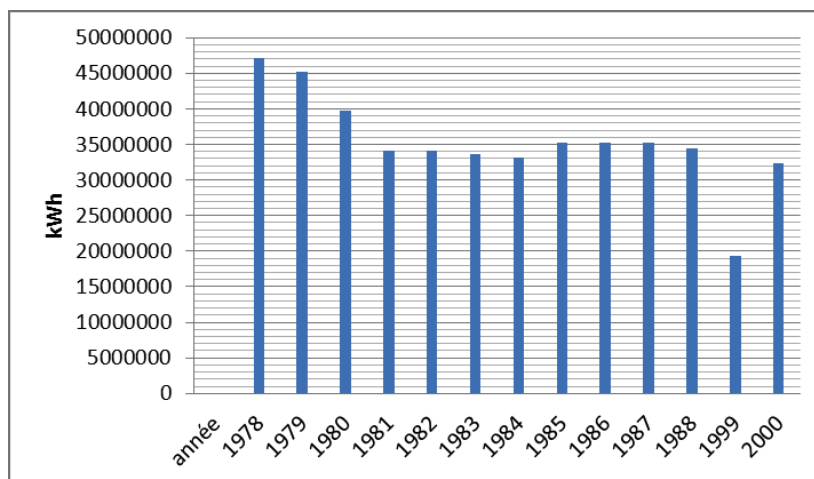


Figure 69 : diagramme des consommations énergétiques du Centre Pompidou entre 1978 à 2000, il indique en négatif les économies d'énergie réalisées après la rénovation du bâtiment.

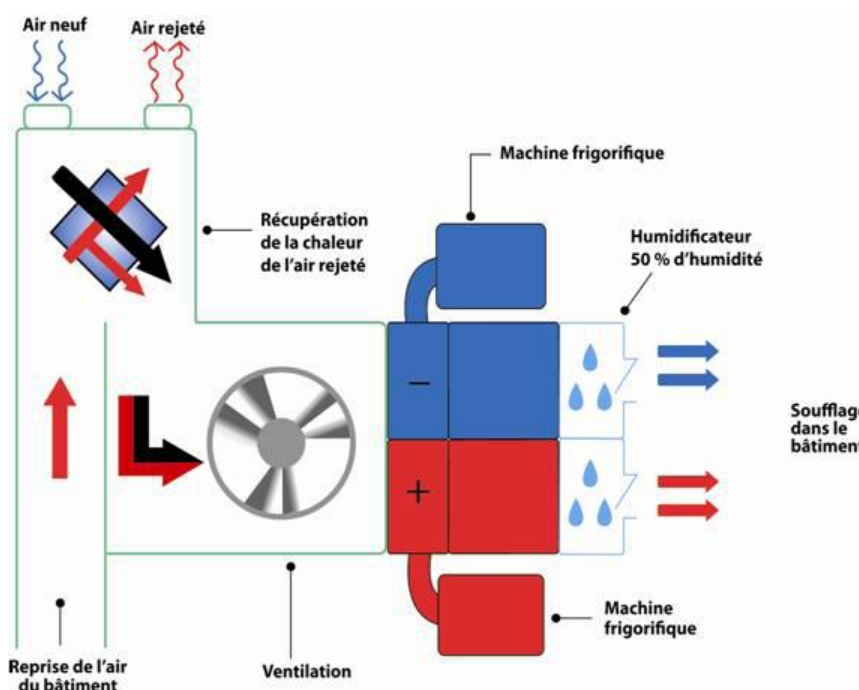


Figure 70: Principe de fonctionnement. Les pompes à chaleur air/air produisent simultanément de l'air chaud et de l'air froid qu'elles diffusent dans un réseau de gaines distinctes. L'énergie calorifique de l'air est captée pour être transformée et injectée dans le bâtiment.

Le DPE du Centre Pompidou

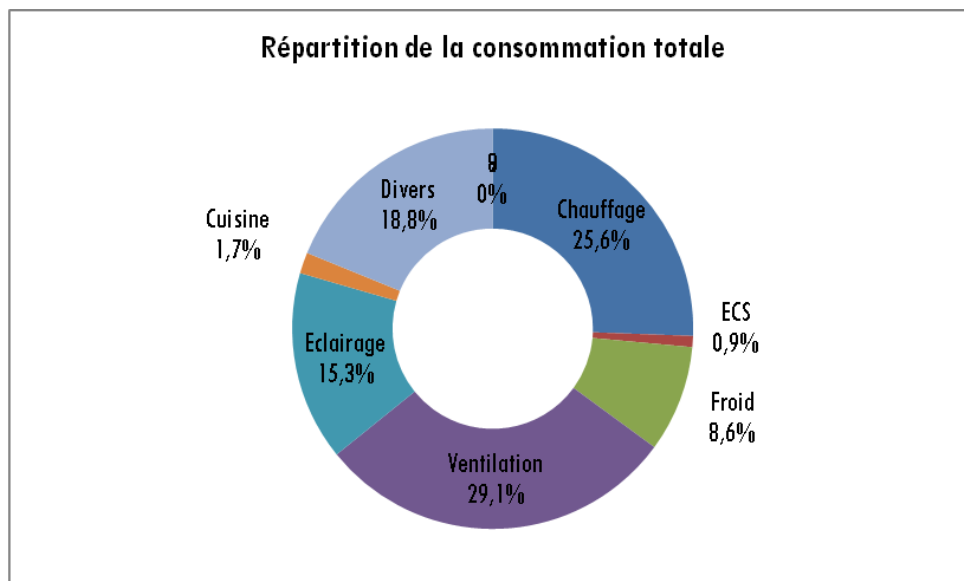
Ce diagnostic énergétique est le résultat de recherches en archives ; nous avons collecté les informations sur les factures EDF disponibles pendant les années 1980. Nous avons utilisé aussi des données de facturation de la CPCU pour la deuxième période de vie du

bâtiment. Pour chaque période significative d'un bâtiment, les moyennes annuelles sont évidemment établies sur le plus grand nombre d'années dont les consommations ont pu être retrouvées. Il faut préciser que pour un bâtiment public, un DPE est établi sur la moyenne des relevés de 3 années consécutives. Deux diagnostics énergétiques ont été fait : le premier pour la période 1977-1979, le deuxième pour la période de 2000-2012. La répartition de la consommation totale du bâtiment dans chaque de poste de consommation a pu être déterminée grâce au rapport de l'étude préalable aux travaux réalisée par le cabinet Bernard. Ces ratios sont les suivants : chauffage 14,2%, eau chaude sanitaire 0,5%, refroidissement 10%, ventilation 33,8%, éclairage 17,7%, cuisine 2%, divers électriques 21,8%.

La réalisation du deuxième DPE s'appuie sur faits marquants de la rénovation :

- après le passage à la CPCU et l'augmentation des rendements des appareils de traitement de l'air et de l'éclairage, la consommation électrique du Centre Pompidou est divisée par deux.
- La solution retenue après l'étude du cabinet Bernard est de passer la production de chaud en tout CPCU et non en simple relai pour certaines plages d'heures aux tarifs les plus avantageux.

En conservant les proportions relatives du premier DPE, le ratio du chauffage devient alors 25,6% de la consommation totale en énergie finale. Les autres ratios deviennent : eau chaude sanitaire 0,9%, refroidissement 8,6%, ventilation 29,1%, éclairage 15,3%, cuisine 1,7% et divers 18,8%.



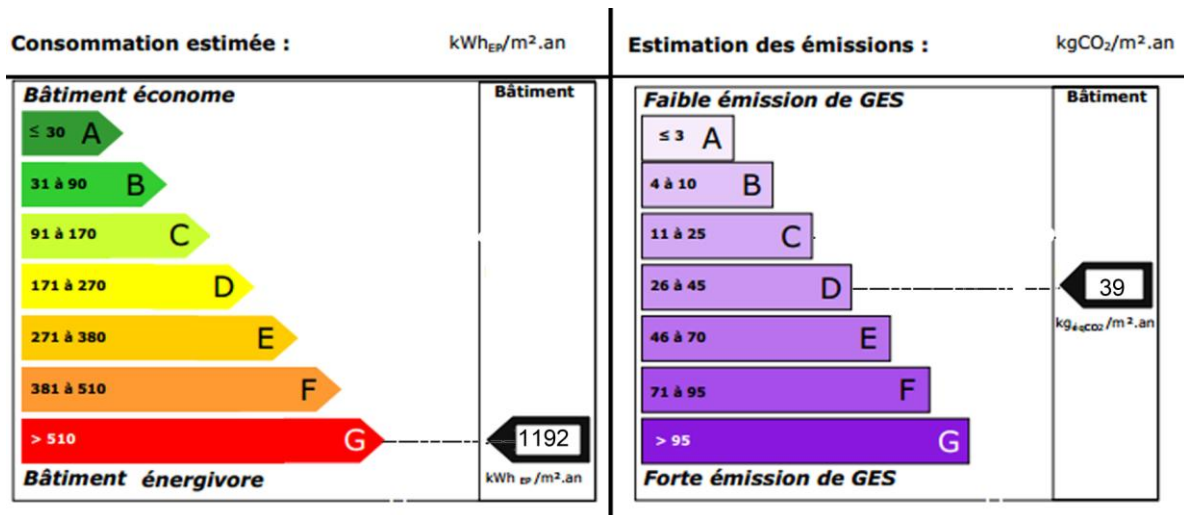


Figure 71: Consommation annuelles d'énergie : période relevés de consommation considérée : 1977-1997, surface utile : 78 800 m2

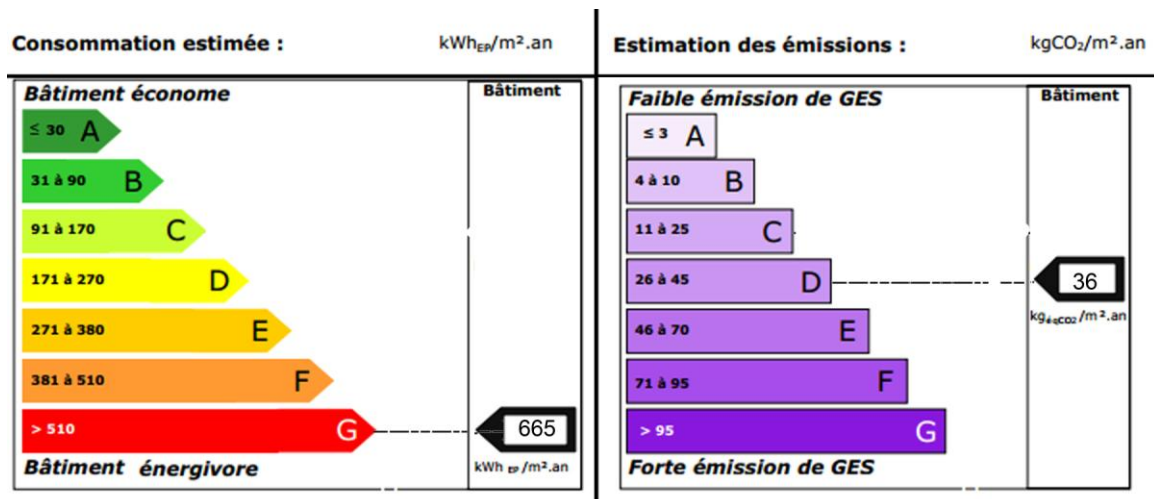


Figure 72: Consommation annuelles d'énergie : période relevés de consommation considérée : 2000-2012, surface utile : 78 800 m2

Les sources formelles du Centre Pompidou

Dès le début de sa carrière, Piano garde une admiration particulière pour Jean Prouvé. Piano, comme Prouvé (descendant d'une famille de modestes industriels), est « un fils, petit fils, neveu et frère de constructeurs »⁵¹¹ et c'est pourquoi qu'il est devenu architecte. Il suit la même méthode de travail que Prouvé quand ce dernier explique qu'un « croquis donné à la

⁵¹¹ PIANO, Renzo. *Un regard construit*. Paris : Centre Pompidou, janvier, 2000, p. 17.

fabrication se traduisait par un premier prototype dans son bureau le lendemain »⁵¹². Piano travaille toujours avec son équipe de « Building Workshop » à vérifier tous les détails de la conception en réalisant des prototypes de taille réelle afin d'éviter les malentendus et ne jamais risquer les interprétations erronées. Pour lui : « un bâtiment est un dernier prototype »⁵¹³. On trouve l'inspiration de Jean Prouvé dans la conception du Centre Beaubourg qui rappelle la conception de la maison de peuple à Clichy créée par Jean Prouvé trente-cinq ans auparavant. La Maison du Peuple à Clichy et le Centre George Pompidou, entretiennent de nombreuses relations. D'abord, Prouvé fait partie, en tant que constructeur, de l'équipe de maîtrise d'œuvre⁵¹⁴. Pour le second, il se trouve de côté de la maîtrise d'ouvrage en tant que président du jury international. Beaucoup de critiques ont circulées autour du choix de Prouvé en faveur du projet de Piano et Roger. Pour certains, ce choix serait le reflet d'un intérêt personnel. En effet, l'esquisse du projet Piano et Rogers se trouve pratiquement réalisée dans la Maison du Peuple à Clichy : programme d'activités intégrées, architecture ouverte et mobile, construction légère.



Figure 73 : Maison du peuple à Clichy, Jean Prouvé 1936-1940, SIMONOT, *La Maison du Peuple*, Beaudouin, Lods, Prouvé, Bodianski, *Un bijou mécanique*, Bold, Monografik éditions, novembre, 2010, 104 p.

⁵¹² *Idem.*, p. 16.

⁵¹³ *Ibid.*

⁵¹⁴ Équipe : Eugène Beaudouin, Marcel Lods (architectes), Jean Prouvé (industriel et constructeur), Vladimir Bodianski (industriel, il met au point les mécanismes qui assurent la mobilité du plancher et de toiture).

Ouverte en 1939-1940, elle apparaît comme une « machine fonctionnelle à tous les niveaux de la conception »⁵¹⁵. Son plan est très simple. Un plancher amovible dans sa partie centrale, repliable et démontable grâce à une machinerie inédite, sépare le rez-de-chaussée qui est consacré au marché, du premier étage. Une fois le plancher replié, elle peut devenir soit un espace polyvalent accueillant des fêtes, des rassemblements de nature diverses, culturelles ou politiques, réunissant jusqu'à 2 000 personnes, soit une salle de cinéma de 700 places disposant de cloisons, d'éclairage et de l'acoustique satisfaisants.

La transparence, la recherche de l'immatérialité, sont les autres éléments-clé de la Maison de Peuple. La lumière donne un aspect « diaphane » au bâtiment et répondre au souci d'ouverture qui caractérise autant l'esprit de la société contemporaine que la volonté d'exprimer la destination du bâtiment comme une maison appartenant au peuple.⁵¹⁶ Ces panneaux de façade pleins comprennent deux faces constituées par des tôles de 12/10, galbées et assemblées par des points de soudure. Pour éviter les ponts thermiques et servir de coupe feu une feuille d'amiante de 5 mm est collée sur la face interne du panneau qui est ensuite remplie de laine de verre. Clichy anticipe Beaubourg et elle le dépasse quant aux solutions de mobilité de l'espace intérieur. Le projet Beaubourg prévoit dans sa conception des planchers mobiles qui seront abandonnés par la suite, faute de budget entre autre. Dominique Clayssen, explique le lien entre ces deux œuvres dans *Jean Prouvé, l'idée constructive* « Clichy est la maquette de Beaubourg, Beaubourg est la réalisation du projet. La page est sans doute tournée, l'architecture moderne est entrée au musée »⁵¹⁷. « Clichy anticipe sur les solutions architecturales qui seront celles du futur Centre Georges Pompidou. L'un des dispositifs essentiels, pour lequel la Maison du Peuple a réalisé ce qui est resté en partie un projet trente-trois ans plus tard, est la flexibilité »⁵¹⁸. À Clichy, les planchers sont démontables et permettent de transformer la salle soit en grande salle de spectacle, soit en marché couvert avec galerie. Le parti technique est le même, avec des modalités de réalisation différentes. A Clichy, toute la structure est en tôle d'acier ; Beaubourg est constitué de travées en treillis, soutenues par des gerberettes. Mais le principe d'articulation de tous les éléments de la structure est similaire.

SIMONOT, Béatrice. *La Maison du Peuple, Beaudouin – Lods – Prouvé – Bodianski, un bijou mécanique*. Bold, Monografik éditions, novembre, 2010, 104 p.

⁵¹⁵ *Ibid.*, p 13.

⁵¹⁶ *Ibid.*, p. 19-20.

⁵¹⁷ CLAYSSSEN, Dominique. *Jean Prouvé : l'idée constructive*. Paris: Dunod, 1983, p. 97-102.

⁵¹⁸ *Ibid.*,

Conclusion

Le travail de Piano et Rogers est marqué par la légèreté, la maniabilité et la facilité du montage. Dans le projet de Beaubourg, les architectes s'inscrivent dans la lignée du « rationalisme structurel ». Des éléments de base : gerberettes, poutres, poteaux ; assemblés, en forment d'autres, d'échelle et de complexité supérieure, dont la répétition produit une structure continue⁵¹⁹. Le « rationalisme climatique » dans ce projet est traduit dans la manière d'utiliser l'enveloppe comme un espace technique. Dans ce projet, l'enveloppe qui a une épaisseur virtuelle sert à libérer l'intérieur des « sujétions techniques » – contraintes statiques, passage des réseaux – ce qui favorise la flexibilité de l'usage et organise autour du bâtiment une enveloppe climatique qui fait de lui un véritable environnement. Un autre exemple du « rationalisme climatique » de Piano et Rogers est celui du bâtiment des bureaux B&B près de Côme, considéré comme un régulateur thermique, le premier projet de l'association entre Piano et Rogers. Le principe de toiture est semblable à celui de Cusago, mais le dispositif est complété par les gaines de fluides, identifiées par des codes couleur, qui circulent dans l'intervalle entre les deux toitures et enveloppent deux des façades. C'est l'embryon de Centre Pompidou, qui se présente comme une véritable enveloppe de tuyauteries et de circulations – elles-mêmes traitées comme des conduits – qui enserrant le bâtiment sur trois de ses faces. Verticalement, elles sont rassemblées dans l'intervalle défini par la projection des gerberettes. Le principe d'extension aux réseaux de la réflexion sur la structure est poussé jusqu'à la caricature⁵²⁰.

Malgré la bonne volonté des architectes et des ingénieurs, l'édifice est très gourmand en énergie. Il est totalement dépendant de l'énergie électrique. Il consomme trois fois plus d'énergie que d'autres bâtiments de la même taille et la même fonction. Pour cela, il fallait faire des efforts pour réduire la consommation énergétique. Ces efforts ont conduit à changer le système de chauffage en l'associant avec la CPCU, ainsi que les équipements d'éclairage et de ventilation. Grâce à la bonne volonté du gestionnaire du Centre et des obligations imposées par la direction du ministère pour réduire la dépense dans l'édifice. Les travaux d'amélioration se poursuivent actuellement. En 2012, un grand projet démarre pour proposer de nouvelles installations de climatisation et de ventilation à haute technologie. Ces travaux

⁵¹⁹ Renzo, PIANO. *Un regard construit : Exposition présentée au Centre Pompidou*. Galerie Sud 19 janvier 27 mars 2000, Centre Pompidou, Paris, 157 p.

⁵²⁰ *Ibid.*

de performances énergétiques s'achèveront en 2015⁵²¹. Ces dernières amélioreront les rendements électriques et thermiques pour répondre aux besoins de chaleur, de froid et d'hygrométrie des 100 000 m² de surface du musée.

⁵²¹<http://www.dalkia.com/fr/actualites/communiqués/2012-06-29,centre-pompidou.htm>
Consulté le 01/09/2012.

Chapitre 8. L’Institut du Monde Arabe 1981 - 1987

Chapitre 8. L’Institut du Monde Arabe 1981 - 1987	238
Dispositions urbaines-environnement	240
Dispositions constructives - matériaux	242
Analyse thermique et solutions économiques	244
Conception énergétique de la façade sud	244
La Conception de la façade Nord :	248
Caractéristiques thermiques et solutions économiques	249
Conclusion	253

Si les années 1970 sont marquées par la création architecturale du Centre Georges Pompidou de Renzo Piano et Richard Rogers, les années 1980 possèdent aussi leurs monuments : l'Institut du Monde Arabe, la pyramide du Louvre, le Musée d'Orsay. Le centre Georges Pompidou, comme l'IMA, sont des constructions métalliques, mais répondent néanmoins à des caractères architecturaux totalement différents. Cette différence correspond à une mutation fondamentale de la société moderne, même si ils procèdent de valeurs communes : l'expression des technologies contemporaines de construction, dans un cadre de mise en avant de la communication et de la création. Ceci cité par Alain Pelissier :

« [...] la cohérence du bâtiment est obtenue par une écriture architecturale, plus que dans la recherche d'une vérité technologique. Aussi bien dans les façades lisses que dans les capotages intérieurs sous lesquels passent les réseaux de distribution intérieure, il s'agit de mettre la technologie en signes. Cette volonté se résume dans la déclaration de Jean Nouvel pour qui –l'architecture doit signifier »⁵²².



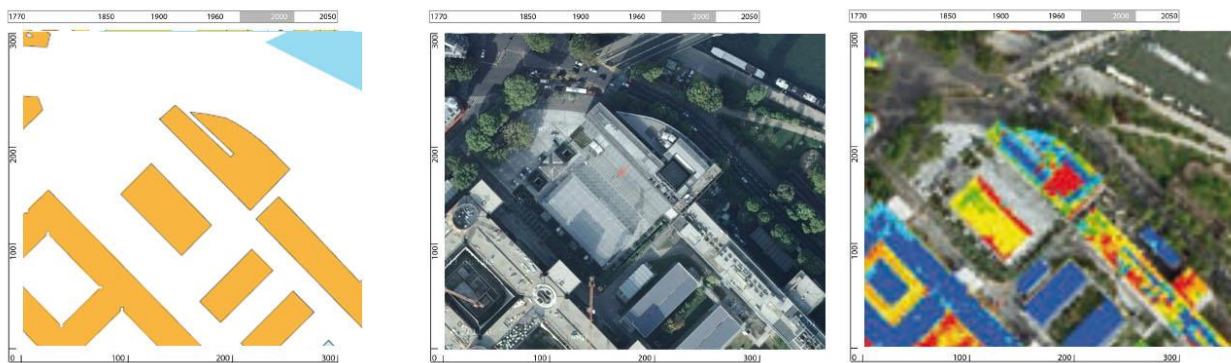
Figure 74 : Façade nord de l'IMA

L'Institut du Monde Arabe, œuvre de Jean Nouvel et Architecture studio⁵²³, ouvert au public à partir de décembre 1987, est le premier grand projet régalién du Président de la République François Mitterrand. L'idée de l'Institut du Monde Arabe, est proposée par la France en 1974 et de financer le projet ensuite en commun par dix-neuf États arabes et la

⁵²²PELISSIER, Alain. L'Institut du Monde Arabe à Paris. In, *Techniques et Architecture*, n° 350, novembre 1983, p 145.

France. Le but du projet est d'approfondir les études et la compréhension du monde arabe, sa langue, sa civilisation et de renforcer les efforts et les avancées en termes de développement⁵²⁴. Le concours est lancé en 1981. L'équipe lauréate est formée par les architectes Jean Nouvel, Pierre Soria, Gilbert Lezènes, et Architecture Studio (Martin Robain, Jean-François Galmiche, Rodo Tisnado, Jean-François Bonne). Les architectes de l'Institut du Monde Arabe, choisissent le verre et le métal — acier et aluminium — pour la construction. Pour le lauréat, Jean Nouvel, « le bâtiment se lit comme un monochrome d'aluminium et de verre [...] c'est simplement quelques traces sur une enveloppe qui signifient le contenu. Ce n'est plus Beaubourg. Ce n'est plus la vérité technologique mise à nu⁵²⁵ ». La structure est entourée de capotages, dans lesquels circulent les canalisations, « innervation de la structure ». Par l'unité de matière, d'aluminium et de verre, plus rien de l'ossature n'est visible. A l'intérieur comme à l'extérieur, « l'IMA est un bâtiment de peau⁵²⁶ ». Les façades agissent comme des masques, - notion arabe- « pensons aux moucharabiehs qui permettent de regarder sans être vu »⁵²⁷, puisqu'elles ne laissent pas transparaître ce qui se passe à l'intérieur. Cette référence apparait pour la façade sud et pour celle du patio.

Dispositions urbaines-environnement



⁵²³ Le bureau d'Études SETEC-Bâtiment, associé à l'architecte Henri Bernard, a assuré le conseil technique de la maîtrise d'œuvre.

⁵²⁴ CAZAUX, Maurice. « Institut du monde arabe : les travaux commenceront cette année ». In : *Le Parisien*, 31 mars 1982.

⁵²⁵ « Jean Nouvel, Architecture Studio, La technologie mise en signes », *Techniques et architecture*, n° 350, novembre 1983, p. 142.

⁵²⁶ *Ibid.*

⁵²⁷ Entretien avec Jean NOUVEL, In : *AMC*, n° 18, décembre, 1987.

Figure 75: Plan de localisation géographique et thermographique du bâtiment, TH1, APUR, Google earth et cadastre de Paris.

La conception du projet exploite la particularité du terrain, situé à l'angle des quais et de la rue des Fossés Saint-Bernard dans le 5^e arrondissement, soit à la limite de deux tissus urbains types : haussmannien et moderne⁵²⁸. Le projet réintègre la ville dans son enveloppe. Côté Seine, le bâtiment suit la courbe du quai Saint-Bernard. Côté Jussieu, il s'inscrit dans le prolongement des constructions universitaires. Ce qui demande aux architectes des bons arguments pour convaincre la Commission des Sites.

« on voulait rester dans l'alignement parfait du boulevard Saint-Germain. On a entendu de la part de la Commission des Sites et des associations des arguments incroyable pour nous faire changer l'emplacement du bâtiment [...]. On nous a proposé de le repousser jusqu'à la fac. Personne ne voulait comprendre la relation morphologique du bâtiment au quartier [...] on a eu beaucoup de problèmes pour trouver la juste place définitive du bâtiment». dit Jean Nouvel.

L'IMA constitue deux parties séparées par une faille — le musée au nord et la bibliothèque au sud – qui font face, l'un à la ville historique, l'autre à la ville moderne. Cette faille intérieure est constituée de matériaux industriels, le verre, le métal, associés à des plaques de marbre suspendues⁵²⁹. Les architectes utilisent les murs-rideaux, qui sont devenus un composant architectural largement adopté dans les villes modernes arabes en refusant l'architecture traditionnelle, réservée au monde rural.

La structure disparaît derrière une enveloppe d'aluminium et de verre. L'enveloppé totalement en verre, nécessite une conception très soignée du chauffage et de la climatisation des locaux. Or, malgré les efforts mis en œuvre par les architectes et les ingénieurs, le bâtiment souffre de conditions climatiques intérieures difficiles surtout pendant l'été : la surchauffe des espaces intérieurs atteint parfois un niveau insupportable. La bonne compacité des volumes conduit à un coefficient de déperditions thermiques par l'enveloppe, le G_1 égal à $0,48 \text{ W/m}^3\text{C}^\circ\text{K}^{530}$, soit un G_1 légèrement inférieur au coefficient réglementaire.

⁵²⁸ PÉLISSIER, Alain. « Transmoderne ». In : *Technique et Architecture*, n° 376, mars 1988, pp. 126-127.

⁵²⁹ NADAUD, Catherine. « la façade qui bouge ». *L'institut du monde arabe, les nouvelles*, 19 au 25 octobre 1983.

⁵³⁰ TRAISNEL, Jean Pierre. *Le métal et le verre dans l'architecture en France du mur à la façade légère*. Thèse sous la direction d'André GUILLERME, université Paris 8 – Saint Denis, 3 avril 1997, p. 410.

Dispositions constructives - matériaux

L'IMA est un bâtiment de neuf étages sur rez-de-chaussée et trois niveaux de sous-sol. Il comprend différents espaces culturels répartis sur une surface hors œuvre brute de 26 900 m², la surface de sol étant de 7 250 m². Ses dimensions principales sont : 77 mètres de longueur, 32 mètres de largeur et 32 mètres de hauteur. Il s'agit d'un bâtiment compact. Le musée occupe deux niveaux côté nord. La bibliothèque, coté sud occupe trois grands volumes de deux niveaux. La tour des livres, qui relie à l'ouest tous les départements de la bibliothèque, distribue des étages le long d'une rampe hélicoïdale. La salle du haut conseil, la salle hypostyle qui précède l'auditorium, sont logées sous le parvis. Un restaurant est situé au dernier étage. L'acheminement des charges verticales vers les fondations est assuré par une superstructure en acier de 1100 tonnes. Les charges horizontales sont reprises soit par des croix de Saint-André en acier, soit par des éléments en béton comme la tour des livres, le mur cimaise nervuré et le bouclier côté est. Le coût de cette charpente métallique, comprenant études, fabrication, montage et protection incendie, est de 2,42 M€, sur une base de 1984. Les planchers du musée, en béton avec prédalles, sont supportés par des poutres PRS en acier espacées de 2,90 mètres. Les poteaux de hauteur correspondant à un étage, sont interrompus au niveau de leurs liaisons articulées avec les poutres. Ils sont tubulaires à section circulaire et de diamètre variant de 219 à 400 mm. Remplis de béton, ils procurent une stabilité au feu de 1h30. La stabilité horizontale d'une partie du musée est assurée par le mur cimaise et par le bouclier en béton situé côté est. Pour ce qui concerne les planchers de la bibliothèque, ils sont supportés par des poutres secondaires type IPE (profils laminés) s'appuyant sur des poutres principales en PRS (poutres reconstituées soudées). Afin d'assurer une stabilité au feu d'1h30, les poutres et poteaux sont floqués sur 4 cm d'épaisseur. Les charges horizontales sont reprises par la tour des livres en béton et par des palées et portiques de stabilité près des circulations verticales. Les poteaux côté patio descendent jusqu'au deuxième niveau, et sont repris par des poutres en acier dont la hauteur peut atteindre 2 m. Ces poutres s'appuient sur des poteaux disposés en retrait et sur une grande poutre transversale. La façade moucharabieh se compose d'une grille d'aluminium et de 30000 diaphragmes métalliques, commandés par des cellules photoélectriques⁵³¹.

⁵³¹ <http://arthur22.free.fr/IMA/Ima.htm>; AA. Février 1984, p. 23-71 ; Guide de l'architecture contemporaine, Paris, Barbara-Ann Campbell, Ed. ellipsis Köneman, p 82-87

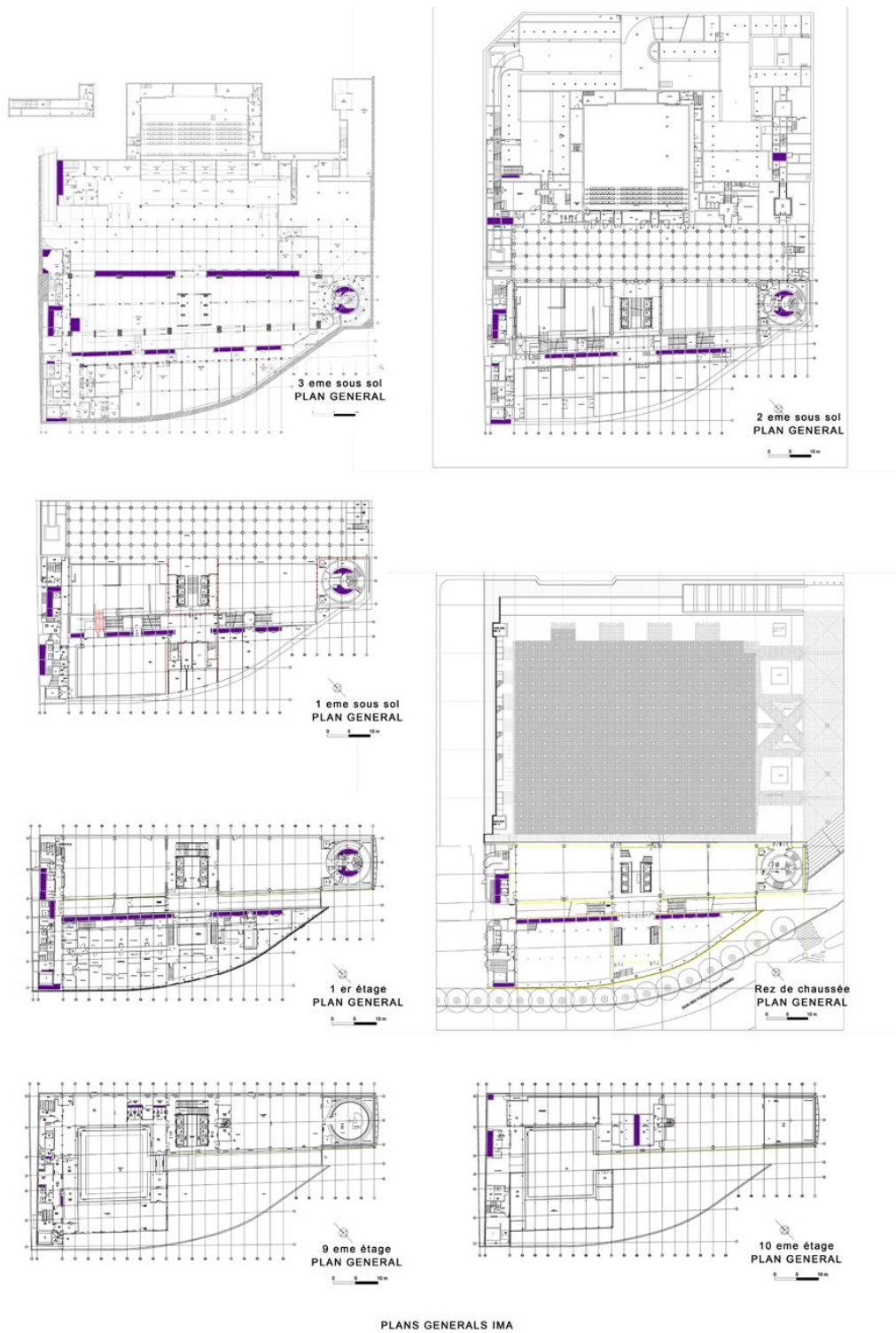


Figure 76 : plans de l'IMA. Source : services du bâtiment, IMA

Analyse thermique et solutions économiques

Les surfaces de verre des différentes façades se distinguent par le traitement qui leur est accordé pour lutter contre le rayonnement solaire et réduire la charge de climatisation. En raison de la faible hauteur des étages, réduite à trois mètres par étage, par rapport au projet originel⁵³², les réseaux doivent se satisfaire d'une très faible hauteur dans l'espace des faux-plafonds. Ce qui est expliqué par Martin Robain « le fait que le bâtiment soit passé de 36 m de haut à 30 m nous a encore forcé à des prouesses techniques extrêmement difficiles. Par moment, on a seulement 2,10 m sous poutre et il n'est pas question, pour des raisons pratiques, de descendre à 2,05m. Il fallut donc réussir, à 1 cm près, à faire passer la climatisation dans les poutres, ce qui a nécessité l'emploi d'aciers spéciaux »⁵³³. La puissance de la ventilation mécanique et de la climatisation est donc limitée par la section des gaines, qui imposent les vitesses d'air au-delà desquelles les risques de bruit sont réels. Si les façades nord sont constituées de doubles vitrages clairs, verrières et cafétéria reçoivent du verre double réfléchissant, de type « Soltran ». En fait c'est la conception des diaphragmes de la façade sud qui est dictée par les limites en puissance de l'installation de climatisation.

Conception énergétique de la façade sud

Le diaphragme est pensé par les architectes pour contrôler la lumière qui traverse le pan de verre de la bibliothèque. Il fonctionne à la manière d'appareil photographique. La trame carrée de 2,90 mètres de côté divise la façade en 240 modules. Chacun de ces modules est divisé par une trame secondaire formant un carré central de 2,10 mètres de côté. Ce carré central reçoit un panneau diaphragme formé d'un ensemble de diaphragmes mécanisés. Les panneaux carrés ou rectangulaires latéraux sont équipés de moucharabiehs métalliques. C'est au moyen de la géométrie que les architectes opèrent une transposition des moucharabiehs traditionnels⁵³⁴. Pour Jean Nouvel, « la façade sud devrait fonctionner comme un mur Trombe. Il y aura des grilles sur les panneaux qui feront qu'à certains moments on évacuera cette chaleur pour qu'il n'y ait pas d'irradiation à l'intérieur, et qu'à d'autres moments on s'en servira comme apport d'énergie »⁵³⁵. Cette approche énergétique est retirée par le bureau

⁵³² Le dépassement du gabarit réglementaire, espéré par les architectes, n'est pas autorisé à une si faible distance de Notre-Dame et du Panthéon

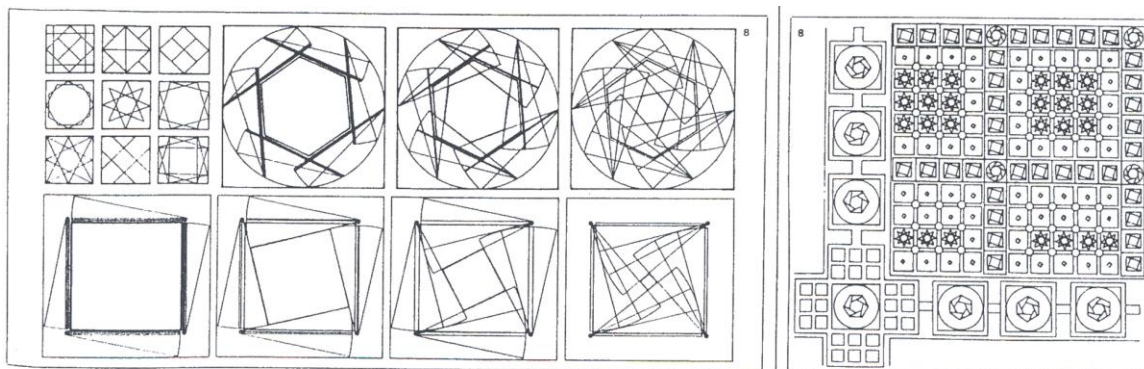
⁵³³ « Jean Nouvel, Architecture Studio, La technologie mise en signes ». ... *Op. Cit.*, p. 141.

⁵³⁴ GOULET, Patrice. *Jean Nouvel*. Paris : Electa Moniteur, 1987, p. 40

⁵³⁵ *Ibid.*, p 142.

d'études, dès avril 1983, car la marge de manœuvre, en structure comme en équipement, est extrêmement limitée de la diminution de la hauteur de bâtiment⁵³⁶. Cela conduit à chercher d'autre conception des diaphragmes. Deux points sont rapidement établis par les ingénieurs thermiciens⁵³⁷. Il faut réduire les apports directs, donc limiter le taux de surface d'ouverture libre globale à 10 % de la surface du panneau, (diaphragmes en position fermée) au lieu des 14,3 % du projet des architectes, toujours en raison de la puissance maximum que peut couvrir la climatisation. Il faut également éviter que les constituants du diaphragme, placés entre deux vitres, se comportent en capteur solaire. Les matériaux doivent être sélectionnés selon leur capacité à réfléchir le rayonnement solaire et à émettre dans l'infrarouge. Sachant que la solution d'une claustra métallique extérieure au bâtiment, répandue dans la construction tropicale dans les années 1950-1960, est rejetée. Les architectes maintiennent la solution de la tôle perforée entre les vitrages.

La façades sud, dont la conception est mise au point avec l'entreprise CGEE-Alsthom, consiste de trois épaisseurs de vitrage : un double vitrage clair à l'extérieur - composé de deux glaces trempées de 6 mm d'épaisseur -, pour éliminer les risques de condensation en hiver, puis une lame d'air d'environ 11 cm dans laquelle prend place la tôle métallique des diaphragmes, enfin un simple vitrage clair à l'intérieur – composé d'un glace trempée de 6 mm d'épaisseur. Ce dernier s'ouvre, pour laisser pivoter le panneau (telle une porte) afin qu'il soit procédé à sa réparation ou à son nettoyage⁵³⁸. La fermeture ou l'ouverture de l'ensemble des 240 panneaux carrés à diaphragmes mobiles peut se faire manuellement ou être commandé par une cellule photo-électrique située sur la toiture.



AA 219 FÉV. 82

Figure 77 : Façade sud et diaphragme, *Architecture d'Aujourd'hui*, février, 1982, n° 219. La géothermie symbole de l'architecture arabe.

⁵³⁶ TRAISNEL, Jean Pierre. ... *Op., Cit*, p. 413.

⁵³⁷ Note n° 18 du 11-04-83, G. BUBOS, Document SETEC-Bâtiment.

⁵³⁸ NOUVEL, Jean. BERNARD, Huet. « Institut du Monde Arabe ». *AMC*, Paris, n° 18, décembre, 1987, pp. 50-65.



Figure 78 : vue intérieure de la bibliothèque de l'IMA.

La construction du prototype est confiée en décembre 1983 à l'entreprise CERPHI, (Conception Études et réalisation pour la physique et l'industrie), puis à EPSI (Etudes productions scientifiques et industrielles). Le pourcentage de lumière directe disponible à travers le panneau diaphragme est de 10 % en position non ouverte et de 26 % en position ouverte. Les 240 panneaux sont réalisés, sous la direction de la CGEE Alstom, à l'usine STECFMI de Grenoble. Chaque « brique » comporte 73 ouvertures, dont 57 diaphragmes motorisés, réalisés par assemblage de lamelles d'aluminium - pour les 240 panneaux, le total est de 17 520 diaphragmes et 82 200 lames motorisées - sur le modèle du diaphragme de l'appareil photographique⁵³⁹. L'ouverture et la fermeture des diaphragmes s'opèrent par des jeux de câble à billes et des tringles en acier inoxydable, actionnés par deux vérins électriques pour chaque panneau.

Pour les études thermiques de cette façade, le bureau d'études de Setec-bâtiment impose une température limite de 45 °C dans la lame d'air, afin de limiter à 20°C l'écart de température avec l'air intérieur, climatisé, de la bibliothèque. La question essentielle est celle de la température atteinte par le diaphragme. Les estimations supposant un coefficient d'absorption au rayonnement solaire de 0,7 pour les diaphragmes donnent des résultats alarmants : sans ventilation, la température de la face exposée atteindrait 120 °C⁵⁴⁰. Il faut à

⁵³⁹ MENARD, Jean-Pierre. Institut du monde arabe : un bâtiment à haute technicité. In : *Les Cahiers techniques du Bâtiment*, n° 87, février, 1987, pp. 49-55.

⁵⁴⁰ Note C.G. n° 19 du 21 juillet 1983, Document SETEC.

tout prix limiter ce coefficient à 0,2⁵⁴¹. Si cette valeur s'impose pour l'absorption dans le spectre visible, le coefficient d'émission dans l'infrarouge doit être supérieur à 0,7 pour faciliter les transferts vers l'environnement extérieur de la chaleur produite par l'absorption de la lumière solaire. Les ingénieurs remplacent l'acier inoxydable du projet originel par de l'aluminium anodisé, qui présente des caractéristiques telles que la température des diaphragmes ne devrait pas dépasser 47 °C, tout en restant supérieure à 2 °C en hiver, compte tenu des échanges avec la voûte céleste.

Des essais d'exposition au rayonnement solaire, simulés par des lampes donnant une puissance de 700W/m², sont effectués par la société F2E (Façades et Économie d'Énergie) les 16 et 18 octobre 1984, afin de tester le comportement et vérifier les températures en divers points de la « brique » de diaphragme. Celles-ci s'augmentent de 52 à 66 °C pour un coefficient d'absorption dans le visible de 0,30 alors que les températures du verre ne dépassent pas 50 °C, limite fixée par les fabricants pour la tenue des joints des doubles vitrages⁵⁴². Une tête de série du panneau subit de nouveaux essais d'ensoleillement, effectués du 20 mai au 9 juin 1986 au CEBTP. Les résultats sont satisfaisants, et conformes aux prévisions des thermiciens. Suivant les conditions de l'essai (ensoleillement naturel ou artificiel), la température de la lame d'air varie de 43 à 51 °C⁵⁴³. Il faut noter le coût élevé de cette invention : chaque élément carré de diaphragmes mobiles coûte environ 45 000 Francs HT (valeur décembre 1985), non compris vitrage et cadre d'aluminium⁵⁴⁴. Finalement, la fabrication et le montage se déroulent durant l'été 1986, la pose, prévue dans le dernier trimestre 1986, se prolonge début 1987. Alors que le coût du panneau diaphragmes, d'un poids voisin de 100 kilogrammes, était estimé à 36 000 francs HT en janvier 1983, il dépasse 65 000 francs en 1987. Le coût final de construction atteint 320 millions de francs, hors agencements et équipements intérieurs, dont l'informatique, quatre fois le montant initial.⁵⁴⁵

⁵⁴¹ Note de G. DUBOS, *Ibid.*,

⁵⁴² Procès-verbal d'essais, 29-10-1984, M. CHAUNAC, Société F2E.

⁵⁴³ Rapport du CEBTP, Centre Expérimental de recherches et d'études du Bâtiment et des Travaux Publics, du 8-76-86, Document SETEC.

⁵⁴⁴ NOUVEL, Jean. BERNARD, Huet. « Institut du Monde Arabe ». *AMC, ... Op, Cit.*, p 64.

⁵⁴⁵ De 71 millions de francs prévu en 1984

La Conception de la façade Nord :

La partie nord, du côté de la Seine, contient les espaces d'exposition principaux du musée. La façade vitrée est constituée par des lisses horizontales qui sont maintenues par des pièces de reprise des efforts horizontaux (efforts de vent) fixées à des potelets verticaux ancrés dans les dalles de béton armé. Entre les poutres du plafond prennent place des éléments qui permettent de masquer les appareils d'éclairage et les gaines de ventilation : des plaques de tôle d'acier en partie centrale ; des ailerons inclinés de tôle d'acier perforée ; ces plaques et ailerons sont suspendus à des rails par des tiges filetées⁵⁴⁶. Le vitrage dans cette façade est tenu entre des lisses horizontales elles-mêmes suspendues par des câbles et fixées aux poteaux de contreventement (raidisseurs de façade) par des rotules. Les cloisons sont fixées sur les poteaux de structure porteuse. La liaison avec la façade est un joint englobant les raidisseurs.

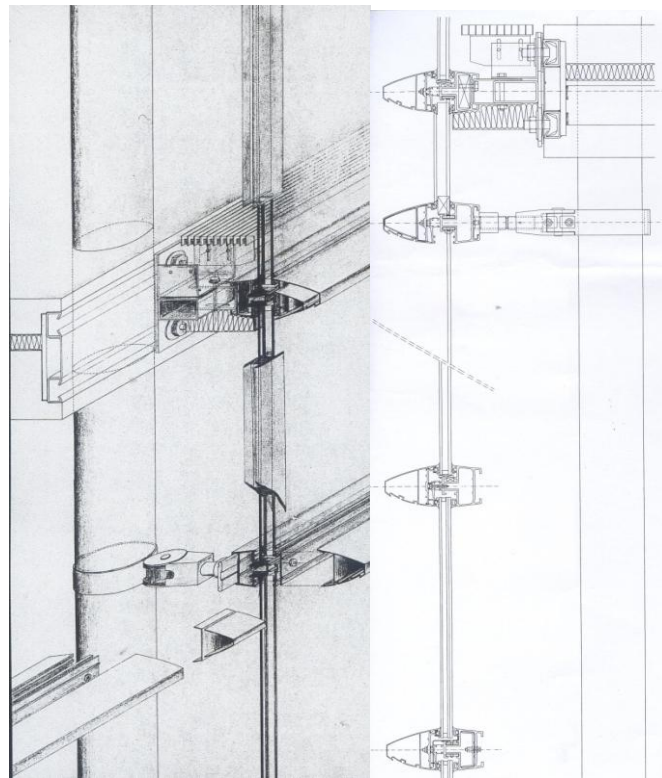


Figure 79 : AMC, n° 18, décembre 1987. Détail de construction, façade Nord, courbe. Le triple vitrage est tenu entre des lisses horizontales elles-mêmes suspendues par des câbles et fixées aux poteaux de contreventement (raidisseurs de façade) par des rotules.

⁵⁴⁶ NOUVEL, Jean. BERNARD, Huet. « Institut du Monde Arabe ». AMC, ... Op, Cit., p 62.

Caractéristiques thermiques et solutions économiques

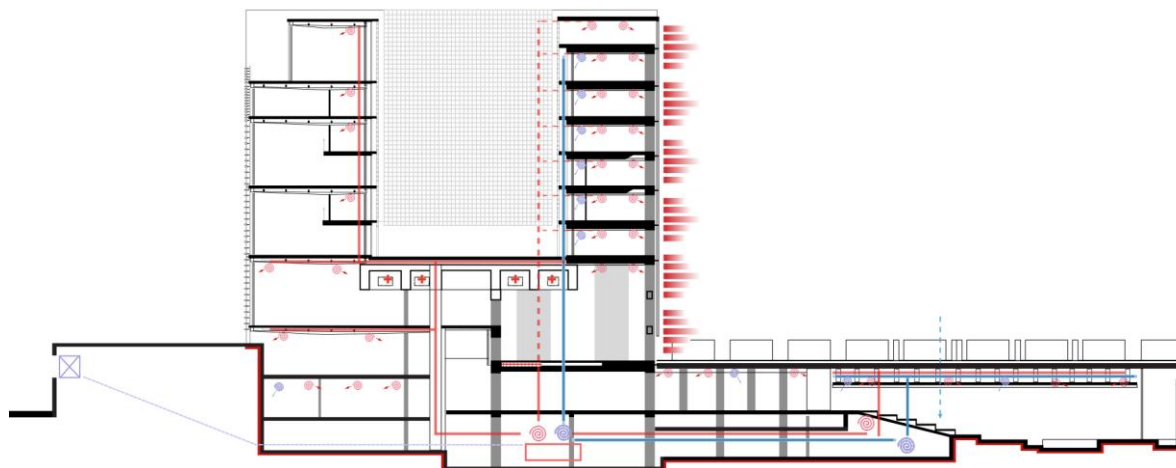


Figure 80: Coupe technique de l'IMA. Source: TH1 et Samaher Wannous. Distribution de l'énergie de sous-sol aux étages dans les gains techniques.

Un diagnostic énergétique est réalisé en 1993 par SOCOTEC,⁵⁴⁷ par l'intermédiaire du logiciel « GTI » Grand Tertiaire et Industrie. Ce diagnostic s'appuie sur : une campagne de mesures dont les résultats sont présentés avec une synthèse quant à leur interprétation ; l'examen et le relevé des installations consommatrices d'énergie ; la connaissance de leurs conditions de fonctionnement sur le site, ainsi que les consommations à travers l'examen des facturations et finalement, l'examen des documents techniques collationnés sur le site, ainsi que les renseignements aimablement communiqués par les différents interlocuteurs de l'IMA⁵⁴⁸. L'IMA est un bâtiment du type R+9 sur 3 niveaux sous-sol. Il comprend différents espaces culturels répartis sur une surfaces hors œuvre brute de 26 900 m². Les dimensions principales du bâtiment : longueur : 77 m, largeur : 32 m et hauteur : 32 m. Les énergies consommées à l'IMA sont l'énergie de la vapeur et l'énergie électrique. Les énergies utilisées pour le chauffage, le conditionnement d'air et la force motrice sont la vapeur du réseau de chauffage urbain CPCU et l'électricité est utilisée pour l'éclairage et les autres usages. Les équipements mécaniques sont installés au troisième sous sol ainsi que les réserves de l'eau froide pour la climatisation. Période d'ouverture au public de 10h00 à 18h00 (ou 20h00). L'amplitude de l'écart de température ambiante hivernale est due à l'arrêt des centrales d'air

⁵⁴⁷ SOCOTEC est une agence génie climatique.

⁵⁴⁸ La période de référence des bilans énergétiques et thermiques calculés, est l'année 1993 (1^{er} Janvier au 31 Décembre), les résultats des calculs avoisinent à quelques pour cent près en plus ou en moins, ces

la nuit. Dans la journée, la température intérieure est stable autour de 20°C avec un léger excès d'humidité relative à 60% en moyenne. Une correction manuelle sur chaîne de régulation à partir du 3 octobre pour rétablir cette moyenne à HR 50% corrélativement par la baisse à 18°C moyen de la température ambiante⁵⁴⁹.

Dans cette étude, nous constatons que le bâtiment consomme beaucoup plus d'énergie l'été que l'hiver. Dans ce bâtiment les appareils électriques consomment autant d'énergie que le chauffage. Les deux postes présentent deux tiers de la consommation totale. L'éclairage et la ventilation présente l'autre tiers.

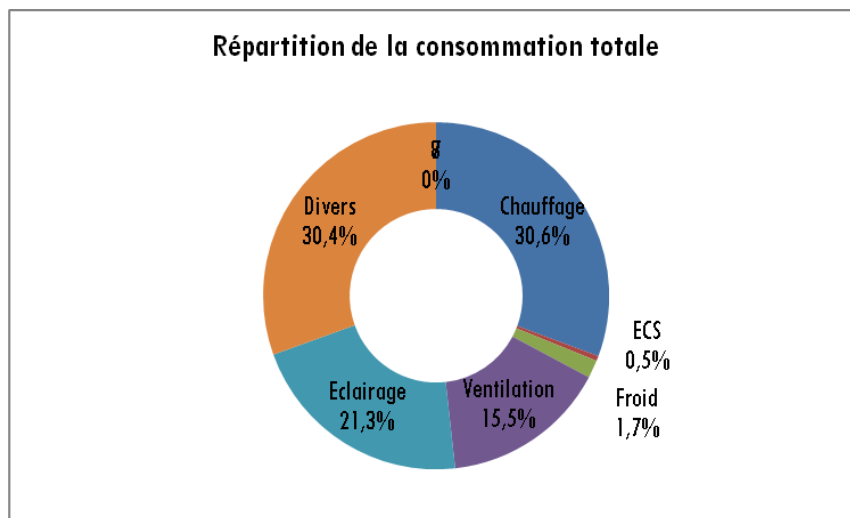


Figure 81 : récapitulatif des consommations énergétique par usage en kWh et en Frs Rapport n° 9591.94.131 du 10-12-1994, SOCOTEC.

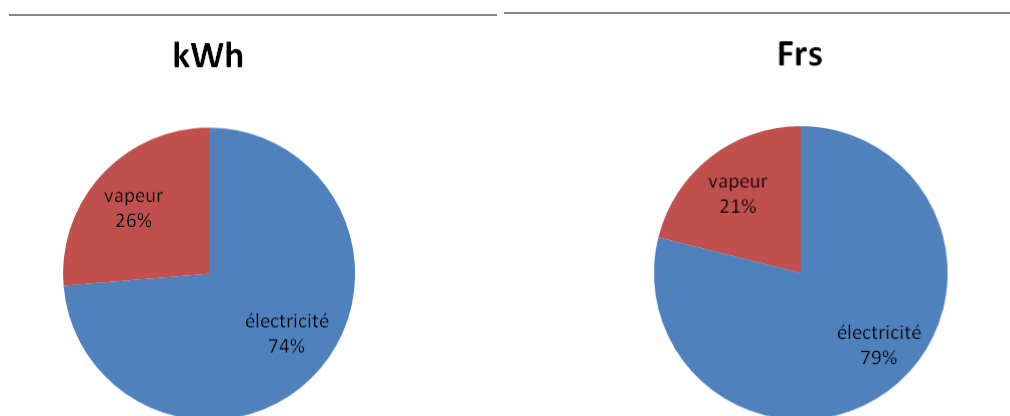


Figure 82 : récapitulatif des consommations énergétique totale en kWh et en Frs Rapport n° 9591.94.131 du 10-12-1994, SOCOTEC.

consommations sont facturées cette année là. « Diagnostic Énergétique : Institut du Monde Arabe », Rapport n° 9591.94.131 du 10-12-1994, SOCOTEC.

Dans la consommation énergétique totale, nous remarquons que le vapeur présente environ le quart de la consommation totale. Cependant, cette consommation présente 20% de la consommation totale en Francs, ce qui signifie que le vapeur est plus économe que l'électricité.

Le DPE réalisé s'appuie sur une étude réalisée en 1993 et qui témoigne du fonctionnement énergétique du bâtiment dans sa conception d'origine. Ainsi nous avons eu directement accès à la répartition de la consommation électrique totale pour chaque poste de consommation. La collaboration avec la CPCU nous a permis de le compléter avec les données de chauffage. Surface : 18 355 m² de surface utile. La répartition selon les différents postes de consommation est la suivante : Chauffage 30,6%, eau chaude sanitaire 0,5%, refroidissement 1,7%, ventilation 15,5%, éclairage 21,3% et divers électriques 30,4%.

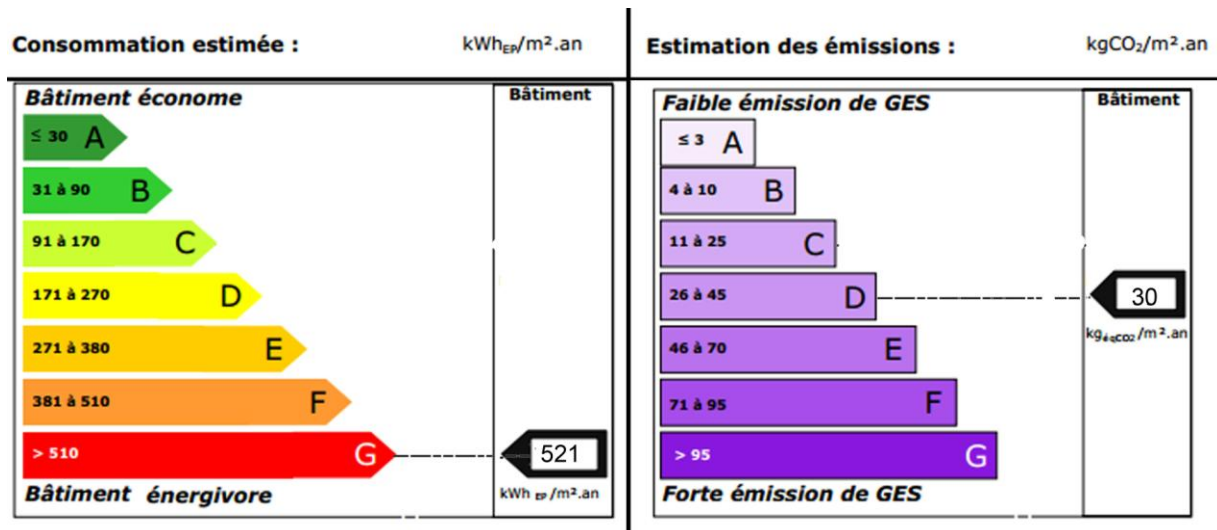


Figure 83: Consommations annuelle d'énergie et émission de CO2 de l'IMA Période de relevés de consommations considérée : 1987 – 2000 Surface utile : 18 355 m²

En ce qui concerne la production d'eau chaude sanitaire, le bâtiment procède quatre ballons, le premier, B1, est sur circuit condenseurs groupe frigos, le deuxième, B2, avec récupération de chaleur sur condensats CPCU (vanne thermostatique réglée au chiffre 2,5 soit environ 40°C sur une plage de 1 à 8 : 30 à 100°C). Les deux autres ballons (B3, B4) sont des ballons électriques réglés à 45°C. Le deuxième ballon (sur condensats CPCU) présente le meilleur rendement de récupération de chaleur : 147 kW pour une différence de 9°C entre B1 et B2⁵⁵⁰.

⁵⁴⁹ *ibid.*,

⁵⁵⁰ « Diagnostic Énergétique : Institut du Monde Arabe », Rapport n° 9591.94.131 du 10-12-1994, SOCOTEC.

Un problème de déperdition énergétique est relevé dans le bureau de premier étage situé sur la façade nord. Ce local est défavorisé en hiver par sa façade vitrée donnant sur le hall « accès personnel » du RDC, ce dernier formant un volume froid et déprédatif. La ventilation dans ce local est amenée à proximité du ventilo-convecteur plafonnier par un conduit de diamètre : 100 mm), son débit est 20 m³/h. L'inertie est faible dans ce local, ce qui peut être généralisé pour les autres locaux situés sur la façade nord, il conserve mal la chaleur lors des ralentis et périodes d'inoccupation. La température intérieure à proximité immédiate de la paroi vitrée, côté-entrée des personnels, est toujours inférieure à celle au milieu du local. L'éclairage artificiel influence la température intérieure, l'allumage automatique de l'éclairage le matin conduit à augmenter la température intérieur rapidement, ceci diminue rapidement après l'extinction (manuelle probablement) et elle remonte lentement pendant la période d'occupation. En général, la chaleur est distribuée dans ce bâtiment par des réseaux statiques (nord et sud) et par réseau chauffage au sol⁵⁵¹.

La consommation énergétique est élevée l'été plus que l'hiver, cette augmentation correspond au besoin de climatisation et renouvellement d'air dans les locaux, à laquelle il faut encore ajouter le maintien de 18°C dans les locaux du musée. Plusieurs solutions sont proposées afin de réduire l'effet de serre – surtout pour la façade sud – comme l'utilisation de stores extérieurs, la mise en place de filtres anti-infrarouge ou un remplacement de vitrages. Ces solutions sont abandonnées car le bâtiment est une propriété intellectuelle des architectes qui refusent de changer son identité architecturale. Pour eux les solutions énergétiques doivent être des solutions mécaniques. Les efforts concernant les économies d'énergie sont alors effectués dans les différents équipements mécaniques. Par exemple, le changement du système de climatisation au début des années 2000 permet une économie d'énergie de l'ordre de 15 %. Le changement des appareils d'éclairage avec des autres plus économe diminue la consommation énergétique de l'IMA⁵⁵².

⁵⁵¹ *ibid.*,

⁵⁵² *ibid.*

Conclusion

Nous trouvons les sources formelles de l'Institut du Monde Arabe dans les façades de la maison de verre de Pierre Chareau⁵⁵³, située dans le 7^e arrondissement de Paris et construite en 1937. Les façades de la « Maison de Verre » présentent la particularité d'être constituées de briques de verre translucide. L'emploi de ce matériau répond à une intention d'éclairage naturel dans un contexte urbain dense avec tous les problèmes d'obstacles à la lumière et de vis à vis que cela suppose. Il s'agit là de l'une des premières utilisations « massives » du verre en façade, fait qui a valu à cette maison un caractère de manifeste et de modèle architectural. Cette architecture de clarté retrouve un esprit comparable à l'IMA par une volonté de transparence.

Les exigences environnementales existent depuis l'âge classique, alors ce sont les parois qui répondent aux exigences de confort. Le mur technique des diaphragmes de l'IMA vise moins à répondre à la question de l'utilité fonctionnelle qu'à l'aspect plastique et la réflexion du ciel dans cette façade. Les architectes de ce monument ne prennent pas l'économie d'énergie comme un problème essentiel dans la conception. L'aspect symbolique passe devant les problèmes techniques. Une gestion informatisée doit maintenir l'ouverture ou la fermeture des diaphragmes en fonction des passages nuageux, comme un reflet de l'état du ciel. Estimée à un million de francs, cette gestion des diaphragmes a été abandonnée lors des deux recadrages budgétaires de 1985 et 1986⁵⁵⁴. La manœuvre des diaphragmes est actuellement programmée à chaque changement d'heure.

La commodité s'est fait voler son argument, au profit du registre de la beauté. Alors que la contrainte du climat, exclue par Andrea Palladio des critères de beauté, se maintient encore dans la paroi afin de contrôler la lumière et la chaleur. Le pan de verre sud de l'Institut du Monde Arabe impose cette dimension environnementale au projet plastique, indépendamment de sa performance physique.

⁵⁵³ La Maison de verre est le chef d'œuvre de Pierre Chareau. Réalisée en collaboration avec l'architecte Bernard Bijvoet, la Maison de verre a été construite à Paris dans le 7^e arrondissement pour le docteur Dalsace entre 1928 et 1931. Composée de trois étages, la maison de verre présente la particularité – unique à l'époque – d'être conçue comme un espace semi-ouvert sur une cour via une façade de verre, véritable interface filtrante en pavés de verre entre l'intérieur et l'extérieur. Soutenue par un treillis métallique, la façade de verre représente une audace inouïe pour la France de l'époque, en plein Art Deco. Retour sur ce joyau de l'architecture parisienne des Années Folles. <http://www.orgone-design.com/blog/la-maison-de-verre-de-pierre-chareau/>

⁵⁵⁴ cf. MENARD Jean-Pierre, Institut du monde arabe : un bâtiment à haute technicité, In : *Les Cahiers techniques du Bâtiment*, n° 87, février, 1987, p. 53.

Chapitre 9. Le Musée d'Orsay 1978 - 1986

Chapitre 9. Le Musée d'Orsay 1978 - 1986	254
Gare-musée d'Orsay	256
Six avant-projets pour un projet :	258
Dispositions constructives – matériaux	261
L'éclairage :	265
L'énergie de la gare d'Orsay :	266
Conclusion	271

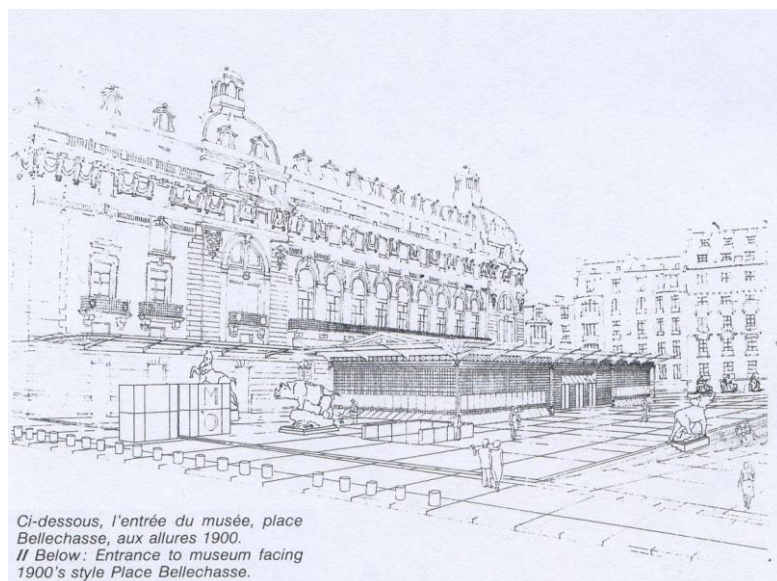


Figure 84 : l'entrée du musée, place Bellechasse, aux allures 1900, *Technique et architecture*, n° 368, novembre, 1986.

La gare d'Orsay est construite en moins de deux ans en bord de Seine dans le 7^e arrondissement de Paris, entre 1898 et 1900 par l'architecte Victor Laloux, à l'occasion de l'Exposition universelle. Elle présente les contradictions de l'époque entre l'art de l'ingénieur et l'art de l'architecte. Cela est traduit par sa construction métallique audacieuse et son architecture décorative. En 1970, la gare est promise à la destruction pour construire un grand hôtel à sa place, or la crise de conscience provoquée par la démolition des pavillons des halles de Baltard sauve cet édifice⁵⁵⁵. En 1973, son inscription à l'Inventaire des monuments historiques est décidée et donc le permis de construire de l'hôtel est refusé. En 1978, l'ensemble des bâtiments est classé monuments historique⁵⁵⁶ et l'établissement public du musée d'Orsay est créé afin de diriger la construction et la mise en œuvre du musée⁵⁵⁷. Les travaux sont suivit jusqu'au 1^{er} décembre 1986 quand le Président de la République, François

⁵⁵⁵ À l'initiative de Fermigier une campagne systématique de sauvegarde est menée, qui aboutit à une procédure de classement par les Monuments historiques en 1971 de la gare d'Orsay. En 1977, pour la première fois, un projet de grande envergure est proposé pour la reconversion d'un édifice de cette ampleur. Les abattoirs de la Villette puis le Musée du Louvre seront transformés par la suite. Mais, entre-temps, malgré Fermigier, la démolition des halles de Victor Baltard en 1973 n'avait pu être évitée. De cette période date la prise de conscience de la nature et de la qualité du patrimoine du XIX^e siècle qui commence à acquérir un droit de cité. L'extension de ce phénomène et les associations amèneront par la suite à considérer aussi la production architecturale du XX^e comme digne de protection. DERVIEUX, Véronique. et Alain. *Éléments d'analyse architecturale*, 14 novembre 2007, p 12.

⁵⁵⁶ Secrétariat d'État auprès du ministère de la culture, [1989], 1992, pp. 54-55.

⁵⁵⁷ Décret n°78-357 du 20 mars 1978 portant création de l'établissement public. Décret n°79-312 du 18 avril 1979 modifiant le décret n°78-357. Décret n°81-106 du 3 février 1981 modifiant le décret n°78-357. Arrêté interministériel du 19 juillet 1979 sur les modalités de contrôle financier de l'établissement public.

Mitterrand, inaugure le nouveau musée qui ouvre ses portes au public le 9 décembre de la même année.

Gare-musée d'Orsay

Le 12 septembre 1896, le ministre des Travaux Publics prescrit au préfet de la Seine l'ouverture d'une enquête d'utilité publique pour établir la gare tête de ligne de la Compagnie d'Orléans au quai d'Orsay, sur les terrains occupés par la caserne du quai d'Orsay et les ruines de la Cour des comptes⁵⁵⁸. La nouvelle gare, terminus du court réseau reliant Paris à Corbeil-Essonnes, est ouverte pour le service des voyageurs. La structure métallique « innovante » est masquée par une imposante façade de pierre dans le « style académique », soulignant l'écart, au XIX^e siècle, entre ingénieur et architecte. Victor Laloux cherche à mettre en valeur un édifice qui se trouve en face du Louvre, le Grand Palais et l'Orangerie de l'autre côté de la Seine. Victor Laloux, s'est expliqué lui-même sur les principes qui ont guidé son conception.

« En face des Tuileries, non loin du Louvre et sur les bords de la Seine, dans un des coins les plus élégants de Paris, elle doit satisfaire à la fois et exigences d'une gare moderne et au cadre architectural voisin qui lui impose un aspect monumental et décoratif. Ces principes nous ont fait écarter complètement, dès le début, la construction apparente en fer. La pierre seule doit être visible dans la gare à construire, la pierre seule pouvait remplacer la Cour des comptes et faire face aux Tuileries »⁵⁵⁹.

En avril 1898, les travaux de démolition des ruines de la Cour des comptes, du Conseil d'État et de la caserne d'Orsay sont commencés et achevés en août de la même année. Ces travaux, facile pour la caserne aux murs peu épais et peu homogènes, trouvent beaucoup plus des difficultés pour les ruines de la Cour des comptes où la Compagnie d'Orléans s'efforce de récupérer une partie des pierres de taille de qualité dont elle souhaite assurer le remploi - 10 000 mètres cubes de matériaux enlevés-⁵⁶⁰.

⁵⁵⁸ Caserne du quai d'Orsay et la Cour des Comptes, édifié entre 1810 et 1838 par Jean-Charles Bonnard, puis par Jacques Lacornée.

⁵⁵⁹ LALOUX Victore, *principes qui nous ont guidés dans l'étude de la gare du quai d'Orsay*.

⁵⁶⁰ JENGER Jean, *Orsay de la gare au musée*, Paris : Réunion des musées nationaux : Musée d'Orsay, 2006, p. 40. La récupération de matériaux de démolition, noble ou non, était courante, et faisait l'objet de marchés spécifiques.

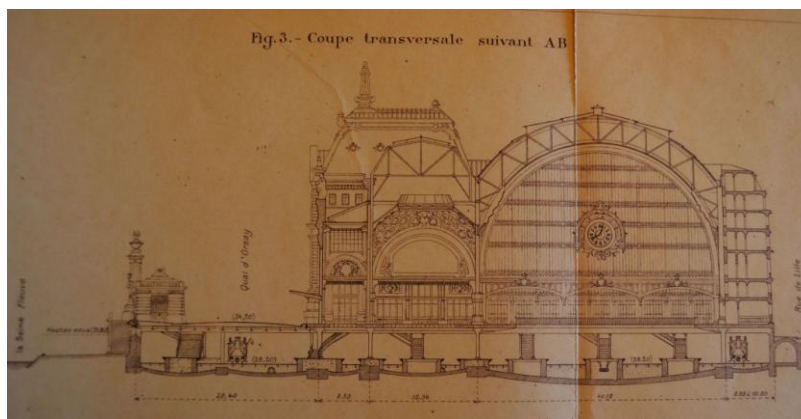
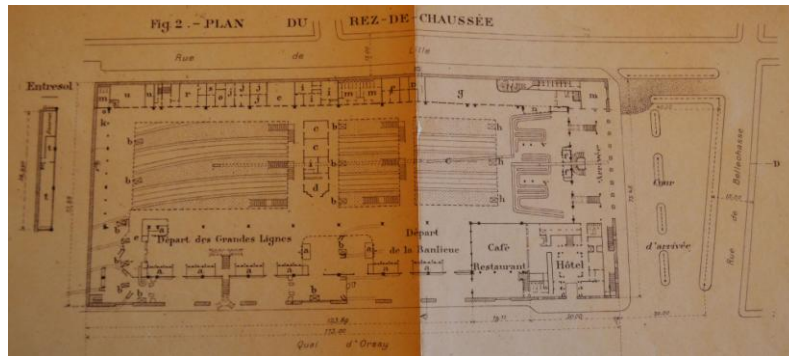
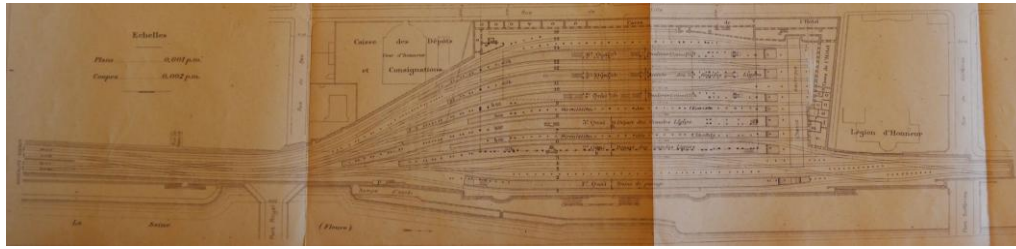
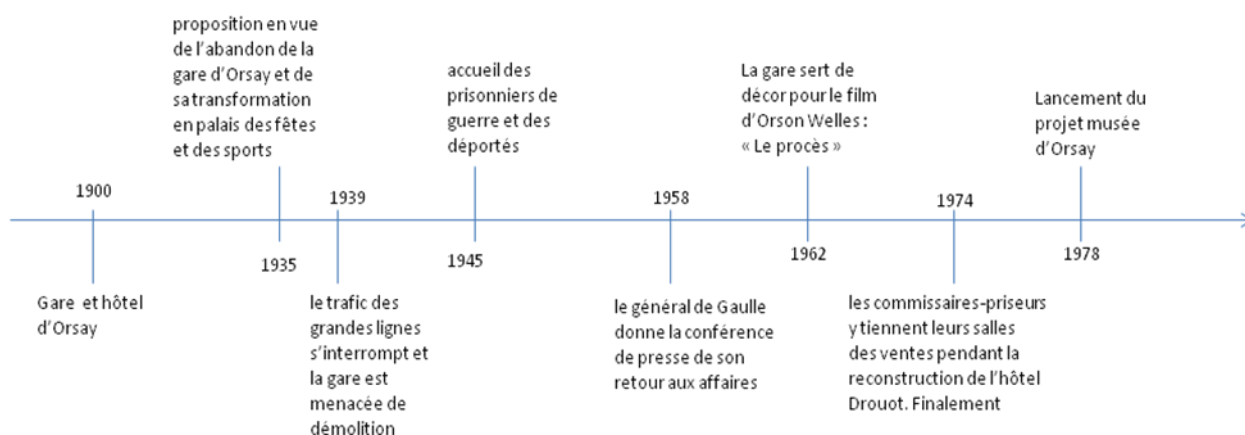


Figure 85 : plan et coupe de la Gare d'Orsay, Centre de Documentation du musée d'Orsay. Musée d'Orsay, Paris, FONDS SNCF : Gare d'Orsay. ODO 1996-28-7.

La gare contient un hôtel luxueux, qui occupe l'angle des rues Bellechasse et de Lille. Elle comprend également des hauts et ceux qui sont attenants aux voies en contrebas. La

voûte de la gare, dessinée par Laloux, est en partie décorée de caissons de staff en forme de rosace. L'idée étant d'impressionner les voyageurs qui seraient, grâce à cette ambiance « éclectique », curieux de découvrir Paris. Cependant, dès 1939, le trafic grandes lignes est interrompu après absorption de la société mère du PO et la gare est menacée de démolition. En 1935, le conseil municipal de Paris est saisi d'une proposition en vue de l'abandon de la gare d'Orsay et de sa transformation en palais des fêtes et des sports. En 1945, on organise, dans la gare, l'accueil des prisonniers de guerre et des déportés. L'hôtel, qui subsiste, perd progressivement de son lustre. On y tient congrès, colloques, rencontres internationales. Il reçoit le 19 mai 1958 le général de Gaulle qui donne la conférence de presse de son retour aux affaires. La gare sert de décor pour le film d'Orson Welles : « Le procès » de 1962, inspiré du roman de Kafka. La compagnie théâtrale Renaud (Madeleine) - Barrault (Jean-Louis) s'y installe quelques temps. En janvier 1974, les commissaires-priseurs y tiennent leurs salles des ventes pendant la reconstruction de l'hôtel Drouot. Peu à peu donc, la gare est devenue un lieu médiatique. Finalement, en 1978 le bâtiment est inscrit comme un monument historique et le projet du musée d'Orsay est lancé. Nous abordons par la suite les étapes du projet jusqu'au projet final décidé en 1982, date de lancement des travaux de construction⁵⁶¹.



Six avant-projets pour un projet :

L'intention générale de la création du Musée d'Orsay est la réalisation d'un nouvel ensemble muséologique dans l'ex-hôtel gare d'Orsay, en face du jardin des Tuileries. L'objectif essentiel est de réunir un ensemble d'œuvres d'art et de documents qui témoignent

⁵⁶¹ Centre de documentation Musée d'Orsay, Paris, FONDS SNCF : Gare d'Orsay. ODO 1996-28-7 ; ODO 1996-28-9 ; ODO 1996-28-11 ; ODO 1996-28-27.

de la deuxième moitié du XIX^e siècle et du XX^e siècle (période 1848-1905/1914)⁵⁶². Cet ensemble muséal regroupe toutes les disciplines artistiques : peinture, sculpture, objets d'art, arts graphiques, architecture et urbanisme, photographie, littérature, musique, naissance du cinéma, la presse, l'affiche, etc... Le projet est particulièrement imprégné par le thème et la relation privilégiée s'établissant entre le bâtiment de Victor Laloux, d'une qualité architecturale exceptionnelle, et les œuvres exposées. Toutefois, le programme entraîne le contrôle de l'éclairage naturel pénétrant par les verrières, difficile à maîtriser. Des transformations radicales et complexes sont nécessaires afin de transformer un bâtiment ancien à usage de gare et d'hôtel en un édifice adapté à la muséographie et offrant tous les services d'une réalisation moderne. Finalement, les architectes sont à la recherche d'une solution d'ensemble dont la gestion puisse se faire dans des conditions optimum de coûts et de résultats : gestion de l'énergie, choix des composants, conduite et exploitation des équipements techniques⁵⁶³.

Six grandes étapes marquent le développement du projet entre le lancement du concours en octobre 1978 et l'adoption de l'avant-projet détaillé définitif en juillet 1982, tel qu'il sera exécuté. Certaines étapes sont déterminées pour l'essentiel par une décision programmatique : conception l'accueil des scolaires et des enfants, création d'un cabinet d'art graphiques non prévu initialement, définition de la période embrassée par le futur musée, ouverture du musée à des préoccupations historiques et sociales dépassant les idées généralement admises, etc. D'autres étapes représentent essentiellement des transformations d'ordre architectural. Enfin, les dernières étapes correspondent au développement d'un projet qui se précise et qui s'affine dans tous les domaines⁵⁶⁴. Tout est lié dans l'architecture du projet, dans son organisation fonctionnelle et dans ses dispositions techniques. L'insertion du musée dans les structures complexes de la gare et de l'hôtel, avec toutes les surfaces d'exposition climatisées et donc solidaires de locaux techniques et de réseaux de dimensions importantes, rendent difficile toute transformation ultérieure⁵⁶⁵. Dans le tableau suivant, nous remarquons l'évolution essentielle du projet jusqu'à l'avant projet définitif en 1982⁵⁶⁶.

⁵⁶² Mission de coordination des grandes opérations d'architecture et d'urbanisme, « Tableau de bord d'opérations, Dossier d'opérations », Musée d'Orsay, novembre, 1982, archives nationales, Fontainebleau.

⁵⁶³ *Idem*

⁵⁶⁴ JENGER Jean, *Orsay de la gare au musée*, Paris : Réunion des musées nationaux : Musée d'Orsay, 2006, pp. 112-113.

⁵⁶⁵ *Idem*

⁵⁶⁶ Evolutions essentielles de l'expression architecturale du projet, *Ibid*, p. 118.

Tableau 10 : Évolutions essentielles de l'expression architecturale du projet

Période d'étude	Avancement des études	Origine des études ou des reprises d'étude	Caractéristiques essentielles de l'évolution
oct 78 - mai 79	A.P.S. 1 concours	Lancement du concours	
juin – oct 79	A.P.S. 2	Reprise d'études d'A.P.S demandée par l'établissement public	Circuit muséographique unique remplaçant circuit principal et galeries d'études. Impressionnistes dans le comble du vestibule (galerie des hauteurs). Double batterie d'escalators derrière le tympan vitré est. Création d'un cabinet d'arts graphiques. Redistribution de nombreuses fonctions dont : exposition temporaires, restaurant du musée, locaux techniques. Nombreuses simplifications d'expression architecturale (oculi, passerelles, verrières sur le cours).
nov79 – juil80	A.P.D.	Développement A.P.S. 1	Continuité par rapport à l'A.P.S. 2.
Août80 – avr81	Avant-projet complémentaire (A.P.C.)	Extension du musée pour le romantisme demandée par Valéry Giscard d'Estaing et transformations diverses	Extension des surfaces de musée au niveau de Lille. Plusieurs éléments d'expression architecturale simplifiés (escalier d'accès au cours) ou supprimés (mur écran entre l'accueil et la nef, passerelles, amphithéâtre et arcdoubleau au fond du cours). Création des tours au fond de la nef. Un seul escalator derrière le tympan vitré est.
Mai81 – oct81	Avant-projet détaillé modificatif (A.P.D.M)	Développement des études de l'A.P.C.	Continuité par rapport à l'A.P.C. Introduction du principe de l'éclairage indirect généralisé et de revêtements minéraux.
Nov81 – juil82	Avant-projet détaillé définitif (A.P.D.D.)	Prise en compte de l'opération « Grand Louvre » et suppression de la plus grande partie des surfaces de bureaux hors musée	Suppression des bureaux étrangers au musée à l'exception de 2 000 m ² de bureaux banalisés. Extension des surfaces du musée au niveau 18,50 dans l'aile Bellechasse, pour les postimpressionnistes, à la suite de la galerie des hauteurs (impressionnistes). Affectation de l'ensemble du pavillon est à l'architecture et à l'urbanisme. Extension des présentations consacrées aux Arts décoratifs. Extension de la salle d'expositions temporaires (2 niveaux).

Dispositions constructives – matériaux



Figure 86: Plan de localisation géographique et thermographique du bâtiment, TH1, APUR, Google earth et cadastre de Paris.

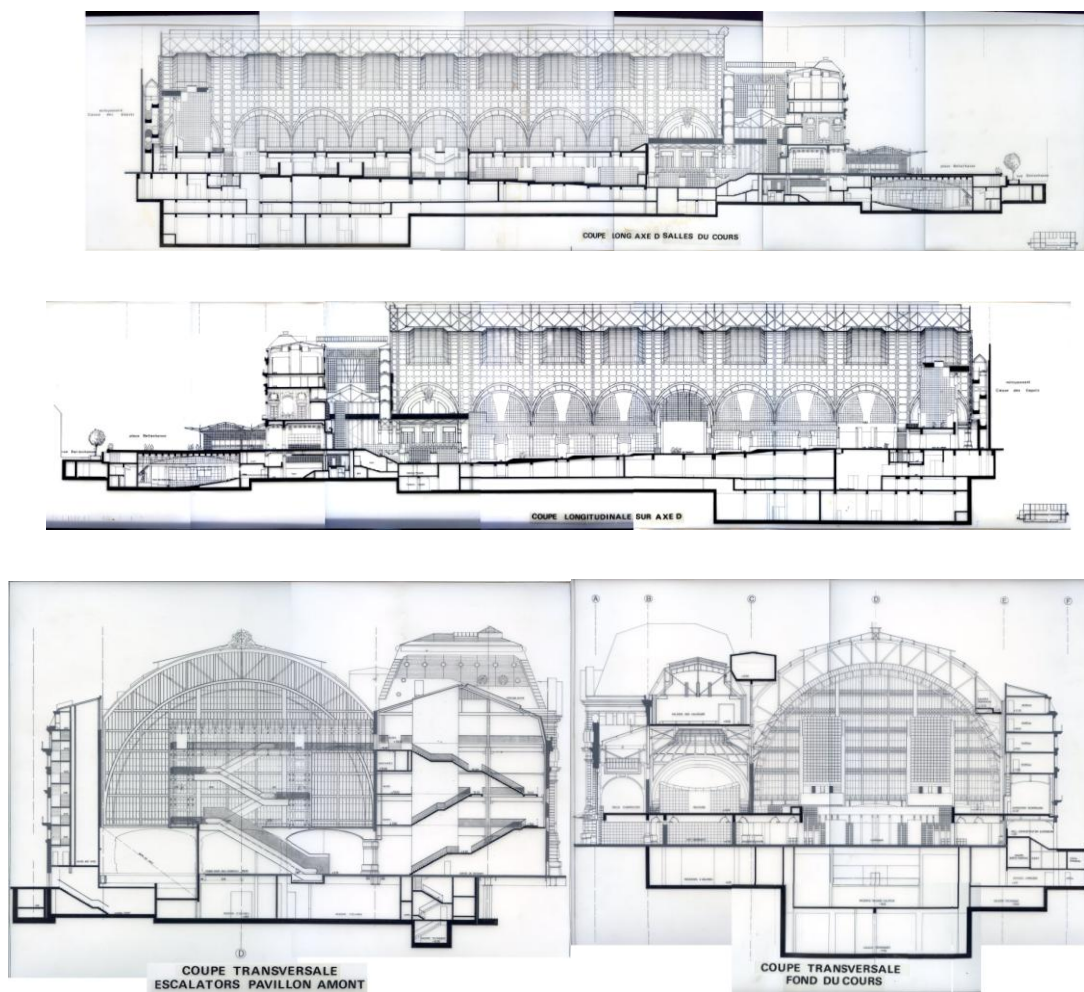


Figure 87: Coupes du Musée D'Orsay, archives du Musée d'Orsay.

Le projet du musée du XIX^e siècle est une « reconversion ». Cette « reconversion » consiste à transformer l'ensemble la gare et de l'hôtel d'Orsay en un musée national. L'édifice comprend notamment : un grand hall constitué par une voûte-arc métallique et verrières, de 40 m d'ouverture et 138 m de longueur. Sur les trois côtés du grand hall une série de bâtiments : (vestibule de 17 m de largeur, porche de 8 m de largeur, hôtel et ses annexes : salle de restaurant, salons, etc...)⁵⁶⁷. Il est caractérisé par : une structure métallique, des façades en pierres de taille, des Charpentes, des Poitoux, des verrières et d'une décoration intérieure en staff et en stuc. Comme cet édifice est classé monument historique⁵⁶⁸, il présente un vrai défi au maître d'ouvrage comme aux maîtres d'œuvre. Le projet doit respecter l'organisation générale des bâtiments et permettre d'en conserver les décors et les mettre en valeur. Les multiples éléments qui animent les parties hautes de l'édifice et ses toitures sont extrêmement dégradés ; « certains, tels que les huit écussons de zinc aux angles des toitures des pavillons ou les obélisques qui dominent ceux-ci, d'autre comme les deux lanterneaux qui ornaient l'aile Bellechasse ont été démolis par la SNCF, en raison des risques que leur état de dégradation faisait courir »⁵⁶⁹. La sécurité du public implique des dispositions précises concernant la tenue au feu des ouvrages : le nombre, les dimensions et la disposition des issues ainsi que les moyens de désenfumage adéquat. Ces exigences sont par fois difficile à réaliser dans ce bâtiment de 1900 aux structures métalliques non protégées où l'adjonction de structures nouvelles va profondément transformer⁵⁷⁰.

Les conditions climatiques, température et hygrométrie, doivent permettre d'assurer la meilleure conservation des œuvres, comme à l'IMA et au Centre Pompidou. De même, les conditions d'éclairage doivent favoriser la présentation des collections, sans pour autant les endommager. Une large utilisation de la lumière naturelle est recommandée, mais il importe, d'empêcher la pénétration directe des rayons solaires jusqu'aux œuvres et de filtrer les rayonnements dangereux pour celles-ci — ultraviolets et infrarouges. La présentation des œuvres sur papier : dessins, gravures, aquarelles, pastels, photographies ; implique des précautions qui comportent des seuils climatiques et d'éclairage très particuliers. La contemplation des œuvres ne doit pas être troublée par une réverbération excessive des sons. Le programme initial définit donc des limites précises pour assurer la qualité acoustique des

⁵⁶⁷ Musée d'Orsay, lot principal, archives du musée d'Orsay.

⁵⁶⁸ Documentation du musée d'Orsay.

⁵⁶⁹ JENGER Jean, *Orsay de la gare au musée*, Paris : Réunion des musées nationaux : Musée d'Orsay, 2006, p.

salles du musée. Les matériaux existants – métal, verre, staff et stuc – de même que le revêtement minéral choisi pour les sols et les murs dans la plupart des volumes nouveaux offrent des coefficients d'absorption moyens.

L'acoustique et la qualité des revêtements, l'éclairage et la climatisation, la sécurité du public et la réhabilitation de l'architecture de Victor Laloux rentrent parfois en contradiction. Il faut cependant choisir, « concilier les inconciliables » et assurer l'unité et la cohérence du projet. Toutes les difficultés trouvent leurs solutions progressivement, au fil des études étroitement menée par les architectes, les architectes d'intérieur et les ingénieurs. Des ouvrages sont réalisés en infrastructure dès le début de chantier. Ce sont la création de quatre niveaux de sous-sol pour accueillir les locaux techniques et les réserves du musée. Ces locaux sont des cuves à eau pour la climatisation, des bâches à eau pour la protection incendie, des locaux techniques (climatisation, transformateurs, groupes électrogènes...), des réserves pour les œuvres, des parkings et ses accès, des salles d'accueil et finalement des locaux divers assurant les différentes fonctions pour le musée⁵⁷¹. Certains locaux situés en infrastructure doivent être parfaitement protégés, citons notamment les réserves et salles où sont disposées des œuvres. Les travaux concernent surtout l'enveloppe extérieure des locaux qui sont implantés entre le rez-de-chaussée et le niveau - 17,50 m. L'enveloppe est composée de parois (radiers et murs) qui assurent la résistance mécanique à la poussée de l'eau de la nappe phréatique, alluviale très proche. Un nouveau radier, immense nappe de béton épaisse de 80 centimètres, est coulé sous l'ensemble des bâtiments à la cote 27,10 NGF et complété par un cuvelage qui remonte à la cote 33 NGF, alors que le rez-de-chaussée des bâtiments est à 33,60 NGF⁵⁷².

Ces structures nouvelles sont articulées aux anciennes en respectant leurs caractéristiques et les exigences réglementaires contemporaines. Ainsi, un travail d'isolation thermique des parois froides est nécessaire pour répondre aux exigences réglementaires. Les parois à isoler sont les suivantes : terrasse place Bellechasse, façades en pierre, plancher bas des combles et couvertures dans les zones sans combles, plancher haut de l'aire de stationnement). En fonction de la nature et de l'emplacement des parois, l'isolation se présente sous différentes formes : matelas de laine minérale, isolant en plaques, isolant associé à une

⁵⁷⁰ *Idem.*, p. 177.

⁵⁷¹ Musée d'Orsay, lot principal, archives du musée d'Orsay.

⁵⁷² NGF : Nivellement Général de la France.

paroi en Placoplatre. De plus, les vitrages de toutes les fenêtres et les parois vitrées sont remplacés par des doubles vitrages.

Les éléments de stuc et de staff sont restaurés ou reconstitués. Dans la grande nef, le vestibule et le porche, mille six cents caissons sont refaits de toutes pièces, leur reconstruction a permis d'y inclure des bouches de soufflage ou de reprise d'air pour la climatisation.

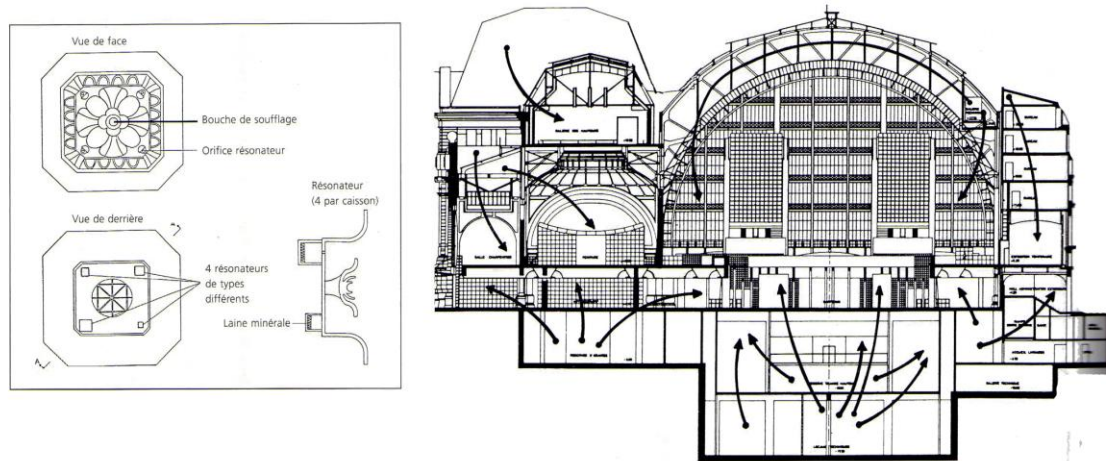


Figure 88: système de ventilation du musée d'Orsay. JENGER Jean, Orsay de la gare au musée, Paris : Réunion des musées nationaux : Musée d'Orsay, 2006.

En groupement avec Bouygues, l'entreprise Sort & Chasle, de zone industrielle de Nantes, est retenue pour l'appel d'offres concernant la totalité de la réfection de la nef⁵⁷³. De septembre 1984 au 14 juillet 1985, l'entreprise investi environ : 135 000 heures de travail, 60 tonnes de plâtre à mouler, 3 tonnes de sisal ou de filasse et 500 kg d'élastomère, sans oublier les 40 déplacement en semi-remorques. Sollicitée pour la rénovation des éléments décoratifs d'origine, en particulier la consolidation de l'immense (10 x 8 m) pendule de staff recouverte de peinture, Sort & Chasle s'est surtout vu confier la réalisation de la pose des motif floraux : 980 caissons de 1,70 m de côté et différents moulages plus petits avec ou sans entrelacs, pour les bordures et à l'approche des arcades. Au total, ce sont plus de 7 000 éléments moulés si l'on considère que les grands caissons sont fabriqués en trois parties : les entourages carrés, la fleur d'acanthé elle-même et l'ensemble cœur/pistil (dont les

⁵⁷³ Musée d'Orsay : du staff de grande envergure, In : *Cahier techniques du bâtiment*, 1985, octobre, n° 75, 1985.

deux parties sont pré-assemblées en atelier). Le plus délicat de l'opération, est liée au phénomène de « contre-dépouille » : le moule d'élastomère doit être très souple pour faciliter le dégagement du plâtre enserré ; il est, lui-même, constitué d'une dizaine d'éléments⁵⁷⁴. De plus, les quatre coins de chaque caisson sont garnis de résonateurs en staff, de dimensions variables pour absorber les différentes fréquences sonores et remplis de laine de roche ; ils sont moulés en série puis séparés sur le chantier.

L'éclairage :

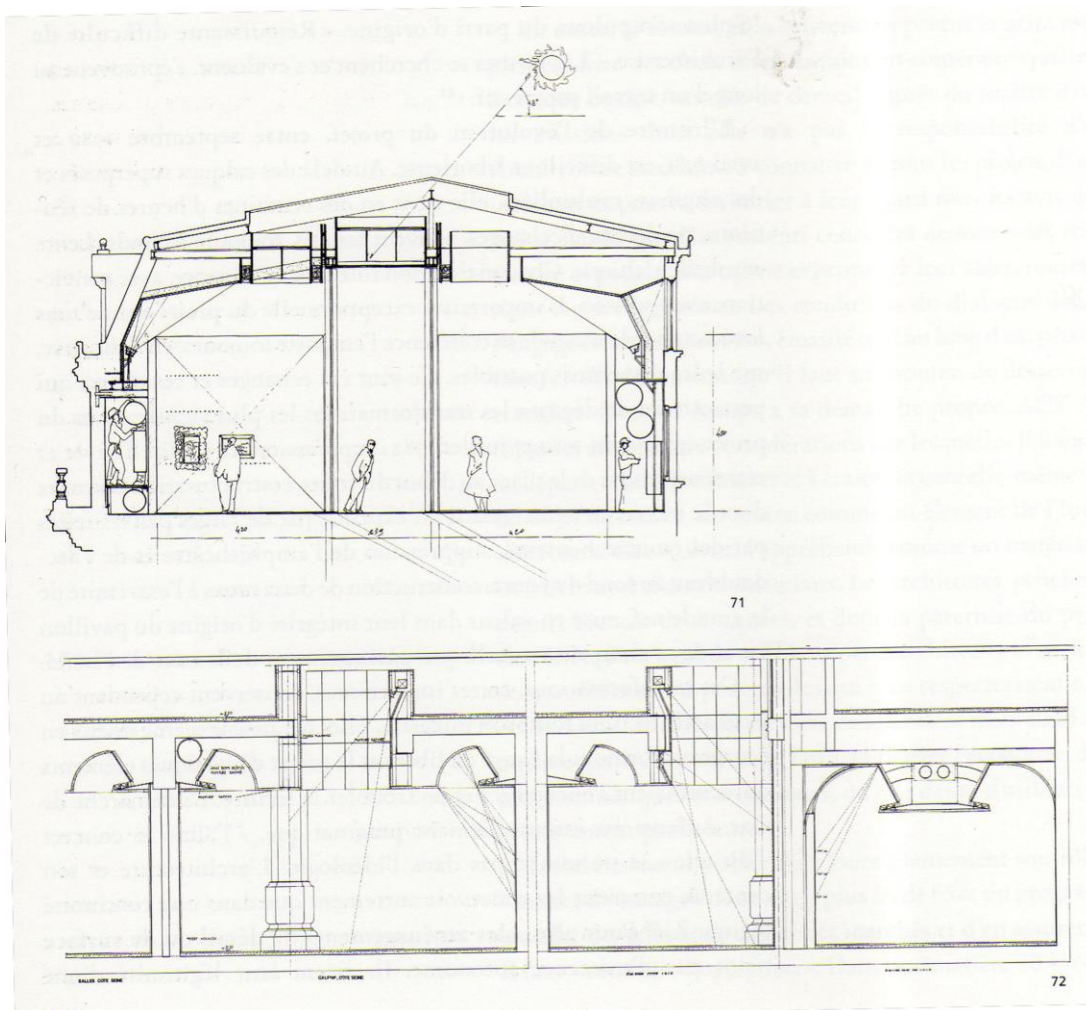


Figure 89 : Coupe transversale de la galerie Bellechasse, études d'éclairage naturel et artificiel, et études d'éclairage indirect. Gae Aulenti. Source : « Orsay, le temps du musée ». *Technique et Architecture*, n° 368, novembre 1986, p 70.

⁵⁷⁴ *Idem.*

Les problèmes d'éclairage délicats dans tout musée d'art, prennent ici une importance exceptionnelle en raison des caractéristiques de la gare, de la diversité des salles et de leurs orientations, ainsi que de la nature extrêmement variée des œuvres et de leurs supports. La lumière naturelle est distribuée généreusement dans la gare, par des parois vitrées nombreuses de près de 25 000 m² ⁵⁷⁵. Il est décidé alors, de conserver la plus large part de ces parois vitrées. Certaines salles du musée qui ne sont pas éclairées directement par une lumière naturelle reçoivent, grâce aux dispositions architecturales, un « jour de référence ». Des aménagements particuliers, au niveau des fenêtres des salles distribuées le long de la rue de Lille, permettent de maîtriser la lumière excessive du plein sud. Les salles de l'aile Bellechasse sont isolées des ouvertures à l'est et à l'ouest, tandis qu'une grande verrière créée sur toute la longueur dispense un éclairage zénithal. Si la lumière naturelle pénètre largement dans de nombreuses salles, il convient d'en maîtriser les flux, sous toutes les orientations, en toute saison et à toute heure du jour.

La volonté de jouer d'une lumière sans cesse changeante exclue l'emploi généralisé des vélums. Les solutions mises en œuvre sont variées : voiles longitudinaux et transversaux sous les verrières zénithales, brise-soleil et rideaux motorisés sous certains vitrages. Afin d'assurer une meilleure isolation thermique, les grandes verrières sont conçues comme une double enveloppe ventilée mécaniquement et dont l'extrados est constitué de produits verriers spéciaux semi-réfléchissants.

Quant à la lumière artificielle, le principe d'un éclairage indirect, généralisé à partir de dispositifs incorporés dans l'architecture est arrêté. Seuls certains points singuliers : décors anciens, œuvres sculptées et objets d'art, font l'objet d'un éclairage ponctuel dirigé. Pour la qualité acoustique du musée, différents dispositifs sont prévus dans tous les espaces publics. Plus de quarante mille résonateurs, des pièges à sons dont les surfaces importantes sont en outre revêtues d'un matériau absorbant ⁵⁷⁶.

L'énergie de la gare d'Orsay :

Dès sa construction, la gare d'Orsay est alimentée par l'énergie électrique. Elle est aussi alimentée par la vapeur pour le chauffage de l'hôtel et les locaux de la gare. La

⁵⁷⁵ JENGER Jean, *Orsay de la gare au musée*, Paris : Réunion des musées nationaux : Musée d'Orsay, 2006, p.

distribution d'énergie électrique alimente non seulement la traction des trains entre les gares d'Austerlitz et de quai d'Orsay - 150 trains par jour environ - mais aussi l'éclairage, la manœuvre des pompes d'équipement et d'alimentation, les nombreux petits moteurs des ascenseurs, cabestans et chariots etc. « L'énergie est produite sous forme de courant triphasé à 5 500 volts et 25 périodes par une usine unique située dans la gare de marchandises d'Ivry, près du pont de Tolbiac, à 5 300 mètres du terminus du quai d'Orsay »⁵⁷⁷.

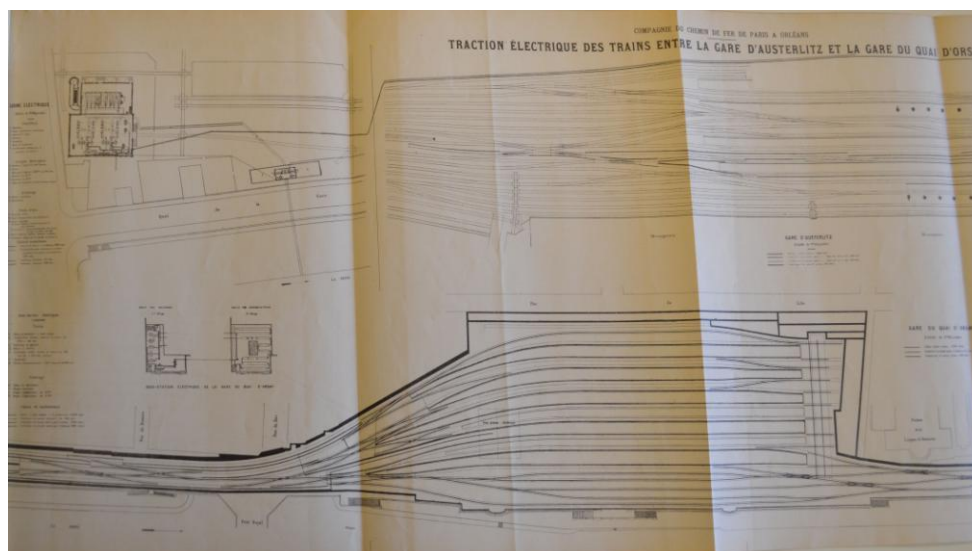


Figure 90 : alimentation de l'électricité de la gare d'Orsay. Source : Musée d'Orsay, Paris, FONDS SNCF : Gare d'Orsay. ODO 1996-28-7.

La chaufferie : la vapeur est fournie par 8 générateurs multitubulaires de 186 m² de surface de chauffe chacun. Ces chaudières sont disposées en deux batteries. Elles sont combinées avec un groupe d'économiseurs de 400 m² de surface de chauffe à décrassage continu des tubes et destiné à réchauffer l'eau d'alimentation au moyen des gaz encore chauds s'échappant vers la cheminée. L'alimentation des chaudières peut se faire de deux manières différentes : premièrement, au moyen des pompes attelées sur condenseur de la machine à vapeur et commandées par le mouvement même de la machine. Deuxième, au moyen de deux pompes à vapeur à action directe et à double expansion⁵⁷⁸. Pendant la crue de la Seine de janvier 1910, les caves de l'hôtel du Quai d'Orsay sont inondés et l'hôtel est longtemps privé

⁵⁷⁶ *Idem*, p. 182 ; « Orsay, le temps du musée ». *Technique et Architecture*, n° 368, novembre 1986, p 70.

⁵⁷⁷ Notice sur les installations électriques pour la traction des trains sur le prolongement de la ligne d'Orléans au quai d'Orsay et l'éclairage des établissements, Paris, Exposition Universelle de 1900, Compagnie de Chemin de Fer de Paris à Orléans. Centre de documentations du musée d'Orsay, Fonds S.N.C.F, Gare d'Orsay, ODO 1996-28-20-6, pp. 4-5.

⁵⁷⁸ *Idem*

de chauffage. C'est pour cela que la Société du Louvre propose d'installer un dispositif de tuyauterie, avec collecteurs de vapeur et détendeurs, qui permettent d'assurer le chauffage à l'aide de locomobiles installées dans la cour d'arrivée⁵⁷⁹.

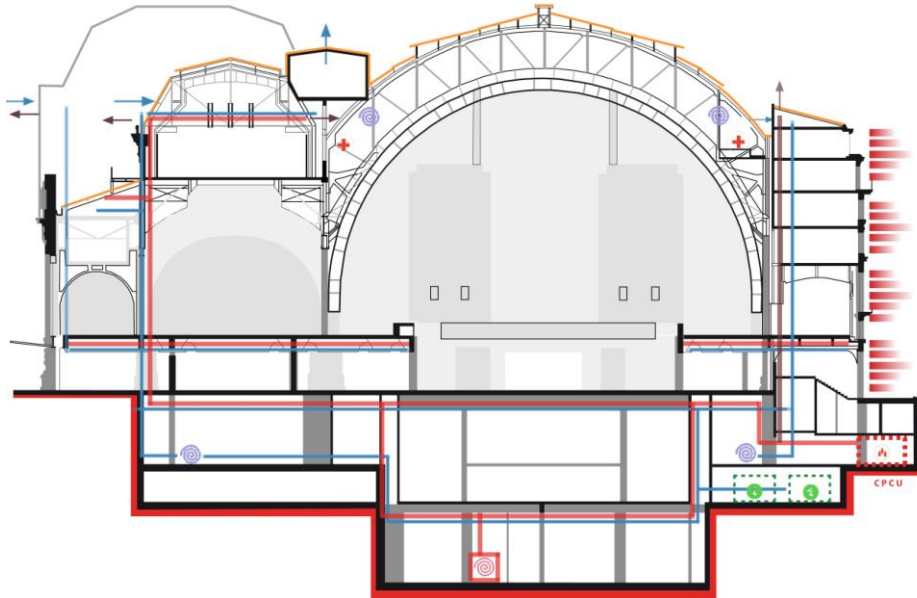


Figure 91 : coupe technique du musée d'Orsay

La reconversion d'une gare en musée est une opération originale dans laquelle la notion de coût global, c'est-à-dire coût de construction plus coût d'exploitation, est présente à toutes les phases du projet. Le rôle de l'équipe chargée de l'énergie et de son exploitation, dans la structure de maîtrise d'ouvrage – maîtrise d'œuvre est d'introduire la notion de coût global en mesurant la valeur de chaque solution technique sous l'aspect du coût de maintenance (moyens humains, entretien, durée de vie du matériel) et du coût énergétique supposé⁵⁸⁰. Une bonne conception dynamique est nécessaire à la climatisation. Le musée d'Orsay avec 46 000 m² de surface utile dont 17 000 m² de surface d'exposition nécessitant des conditions très précises de températures et d'humidité. La double nécessité de répondre au programme et de limiter les coûts d'exploitation, s'est concrétisée entre autres dans deux réalisations étroitement liées : le traitement d'air de la grande nef et la production d'eau glacée.

⁵⁷⁹ Notice explicative Installation d'un dispositif de tuyauterie permettant d'assurer le chauffage de l'hôtel à l'aide de locomobiles pendant les périodes d'inondations. Centre de documentations du Musée d'Orsay, Fonds S.N.C.F, Gare d'Orsay, ODO 1996-28-27-6, Paris, 1910,

L'installation de climatisation assure un débit de 260 000 m³/h, le débit d'air ventilé et chauffé étant par ailleurs de 280 000 m³/h. Parmi les dispositions propres à assurer une optimisation des consommations énergétiques, un dispositif de stockage thermique à membrane est retenu⁵⁸¹. Les espaces d'exposition situés dans la grande nef posent un problème lié à la verrière en double peau et à la structure métallique. Il faut maintenir, au niveau des œuvres, 18 °C à 50 % d'humidité relative en hiver, 28 °C à 40 % d'humidité relative en été, tout en évitant les phénomènes de condensation sur la structure (plus froide) et en conservant une surpression dans la nef, ceci pour un coût d'exploitation minimum et dans le respect du projet. Le choix s'est fait sur un système permettant un traitement dans les zones d'exposition à centrale d'air à débit variable, avec modulation du taux d'air neuf. Les reprises d'air s'effectuent en partie haute de la nef, comme les arrivées d'air soufflé contribuant au traitement de la double peau. Un système spécifique de ventilation vient compléter le traitement de cette double peau afin de rendre cette zone neutre⁵⁸². L'étude du coût énergétique, réalisée à travers un scénario de fonctionnement élaboré en collaboration avec l'Etablissement Public et les conservateurs, a mis en évidence l'intérêt d'un stockage d'eau glacée assurant une réduction du nombre de groupes frigorifiques et une optimisation du coût de production de cette eau glacée. Un système original de stockage à membrane flottante séparant les deux phases avant et après utilisation d'eau glacée est installé. Ce système permet de garantir un potentiel de production en éliminant la contrainte du mélange. Or, cette solution n'a pas donné les résultats escomptés en termes d'efficacité énergétique. C'est pour cela que des ingénieurs travaillant au musée d'Orsay, ont proposé l'autre système pour climatiser et chauffer l'immense volume de la nef,⁵⁸³ en optimisant la consommation énergétique et en gérant l'enthalpie du mélange de l'air neuf et l'air recyclé afin d'arriver à la consommation la plus performante possible.

Les données recueillies ne permettent de réaliser que le DPE correspondant au temps ouvrable du musée. Surface utile : 46 000 m². Les équipements mécaniques du musée sont contrôlés par un système informatique qui permet d'analyser précisément la consommation énergétique.

⁵⁸⁰ VAISSE P., Musée d'Orsay Paris, ACT Architecture, GAE Aulenti, In : *Architecture d'aujourd'hui*, 1986, décembre, pp. 1-25.

⁵⁸¹ Brevet Canadian Engineering Interface, représenté en France par le cabinet Trouvin

⁵⁸² Dans la double peau de la nef, il y a 4 groupes aérochauffeurs qui chauffent l'air avant le souffler dans la nef, en plus des 6 centrales de climatisation pour l'air froid (trois de chaque côté).

⁵⁸³ Entretien avec Olivier MOREAU, GTC-GMAO, Contrôle technique, musée d'Orsay, le 07/06/2012.

Comme nous avons marqué, le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire est assuré par un raccordement avec le réseau CPCU ; le branchement permet également l'humidification (non quantifiable et négligeable) par injection directe dans des gaines de climatisation. Le rapport entre ces deux postes de consommation nous est confirmé par les services techniques du musée d'Orsay après comparaison des factures CPCU « été » et « hiver ». On obtient cette répartition : chauffage 98% et eau chaude sanitaire 2%. La répartition de la consommation électrique a aussi fait l'échange de données avec les services techniques du musée. Ainsi en obtenant les ratios de consommation pour une période dite « normale » et la période de consommation maximale des 3 mois de l'été, on obtient : refroidissement 8,5%, ventilation 17,2% et autres électriques dont éclairage 74,3%. La distinction entre l'éclairage et les diverses consommations électriques peut être faite en reprenant un ratio moyen de ce dernier poste entre Pompidou et l'IMA. On peut ainsi déterminer la répartition de la consommation globale du bâtiment : chauffage 34,7%, eau chaude sanitaire 0,7%, refroidissement 5,5%, ventilation 11,1%, éclairage 23,1% et divers électriques 24,9%.

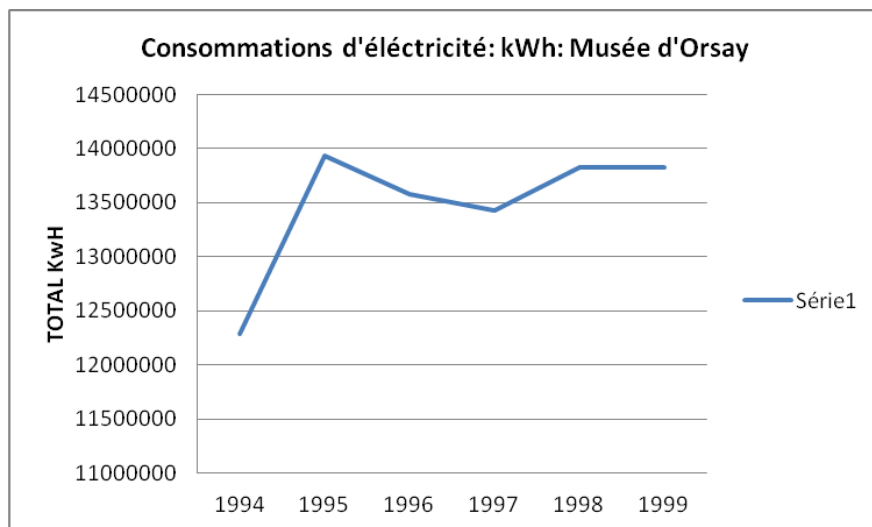


Figure 92 : Évolution de la consommation d'électricité du musée d'Orsay (1984-1996), factures EDF

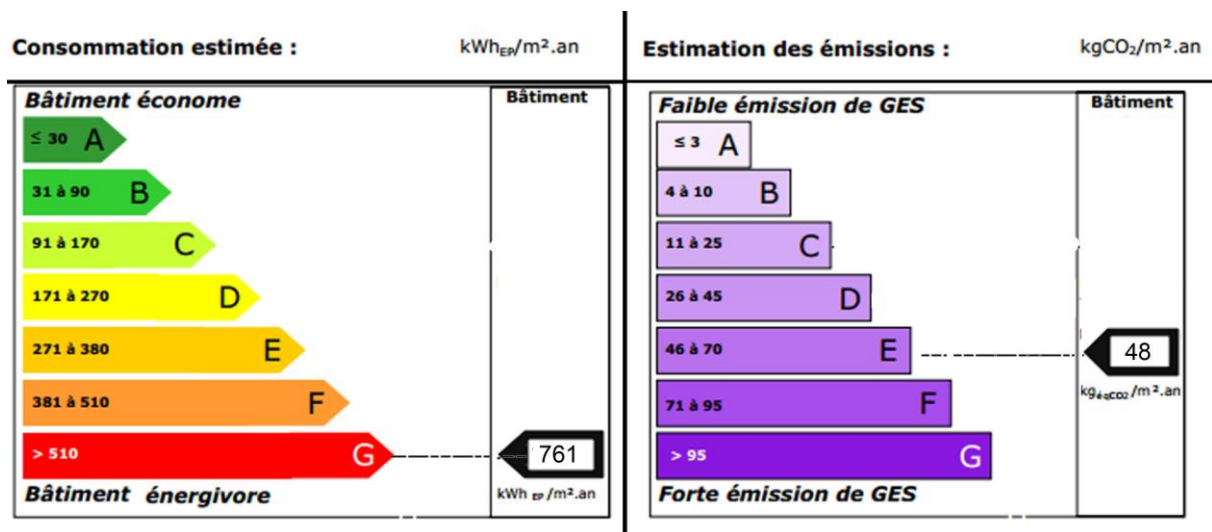
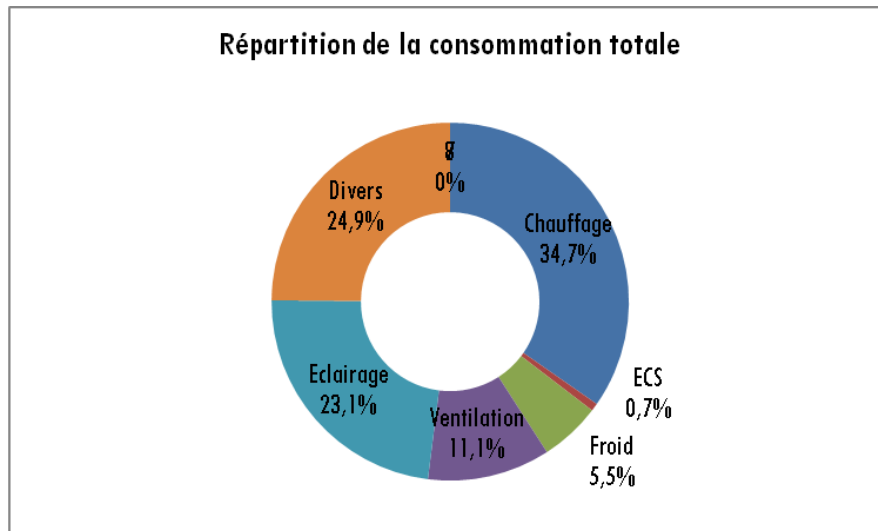


Figure 93: Consommations annuelle d'énergie et émission de CO₂ de l'IMA Période de relevés de Période de relevés de consommations considérée : 1986 – 2012 Surface utile : 46 000 m²

Conclusion

Le musée possède aussi des installations de production de chaleur et de froid performantes avec un système de récupération de calories sur un groupe froid pour alimenter la partie de groupe de chaleur. La consommation de la climatisation, du chauffage et de l'éclairage sont contrôlés par un système de gestion et de surveillance centralisé. Le système « bâtiment-usagers-gestionnaire » concourt aux économies d'énergies du musée. Les usagers sont les occupants quotidiens des lieux. Ils font appel aux différents services du bâtiment avec des pratiques plus ou moins responsables, étant de manière générale peu informés sur les enjeux de leurs habitudes concernant les consommations d'énergie, l'utilisation de l'eau, l'utilisation économe ou pas des consommables, le tri effectif des déchets.

Le comportement des usagers aide à effectuer des économies d'énergie : comme éteindre les lumières, les ordinateurs, fermer les fenêtres pour limiter les déperditions thermiques. D'autres solutions sont mises en place également comme l'extinction de la lumière pendant la nuit, le remplacement de quelques appareils de climatisation à eau par des appareils de climatisation à air, etc. Un diagnostic de performance énergétique toujours en cours de réalisation devrait répondre à la note du ministère de la culture du 30 novembre 2010, qui veut réduire de 20 % l'émission de GEZ à l'horizon de 2020, l'année de référence étant 1990.

Synthèse

Pour l'architecte Norman Foster, il faut dès maintenant que l'industrie de la construction accorde une place prioritaire aux normes écologiques qui ne sont pas des entraves à la créativité et à l'esthétique, mais tout au contraire agissent comme des facteurs indispensables à la réussite d'un projet. Il n'y va pas par quatre chemins «Nous devons relier chacun de nos projets à un concept écologique et environnemental. C'est ce que nous avons mis en place à Berlin, pour l'aéroport de Stansted à Londres (il consomme 50% d'énergie en moins que d'autres terminaux) et que nous appliquerons à nos autres projets à Hong-Kong et Pékin».⁵⁸⁴



Figure 94: Le Palais du Reichstag à Berlin de Norman Foster : le nouveau dôme – ou coupole - du Reichstag, avec son vaste cylindre central en verre conçu pour refléter la lumière naturelle dans la salle des séances compte parmi les éléments les plus impressionnants visuellement et architecturalement. Il fournit une ventilation naturelle et de la lumière grâce à un système de miroirs qui oriente la lumière vers la salle des séances durant la journée et la restitue à l'inverse la nuit. Des considérations écologiques sur les sources d'énergie renouvelables aboutirent à une technologie de chauffage et de conditionnement d'air alimentée par de l'huile de colza avec une réfrigération en sous-sol et des unités de chauffage.

La Cité des Sciences, la Cité de la Musique, l'Opéra de la Bastille, sont aussi des œuvres républicaines françaises qu'on aurait pu prendre à témoin, comme le Reichstag de Berlin. Malheureusement, leurs archives énergétiques sont incomplètes, disparates ou

⁵⁸⁴ CHICHÉ, Patrick. HERZEN, Michel. KELLER, Lucien. NILSSON, Mats-Ola. *Architecture & conception Énergétique, Abriter la vie*, p 12. <http://dawwww.epfl.ch/OR/ACE livre/ACE quelques pages.pdf>

inaccessibles. Suivant d'anciens usages, la maîtrise d'ouvrage d'Etat française ne conserve pas plus d'une douzaine d'années les factures d'électricité ou les échanges avec les services concernant les modifications ou la maintenance techniques. Le récolement est généralement un service inconnu dans l'administration du bien public. L'absence de mémoire technique chez les chefs de service — ingénieurs et administratifs — et le fait qu'ils ne s'intéressent pas au récolement, conduisent à une perte de savoir et de connaissances du développement durable de ces bâtiments clés de l'architecture française. Au reste le directeur du monument pourrait peut-être répliquer : est-il nécessaire de conserver des preuves d'une si faible participation de ce bâtiment à l'économie énergétique ?

Au début de notre enquête, plusieurs services techniques n'ont pas répondu, même après plusieurs lettres, ce qui laisse entendre en outre des problèmes de communication avec le « public », ou plutôt une volonté de s'abstraire de toute relation avec l'extérieur. De fait, l'accès aux archives contemporaines a été déterminant dans le choix des trois monuments publics culturels :

- le Centre Pompidou, pour ses archives riches et complètes en économie d'énergie dès la première année de son ouverture, en 1977.
- l'IMA, même si les archives énergétiques sont quasi absentes, ce bâtiment a eu des problèmes de confort thermique dus dès sa conception au vitrage et à sa façade sud, Pour le directeur de gestion du bâtiment, être un ingénieur ça vous dire travailler, trouver le problème et chercher la solution. Le travail se traduit dans l'acte et les résultats immédiats. En revanche, les architectes de l'IMA ne semblent pas vraiment prendre en compte l'énergie dans leur conception. Martin Robain confirme que la consommation énergétique n'était pas dans le programme du projet.
- le Musée d'Orsay, dont les archives sont dispersées entre plusieurs services qui ignorent parfois là où elles sont entreposées.

Pour Pompidou, l'équipe de conception choisi d'exposer les équipements mécaniques à l'extérieur du bâtiment. La peau de Pompidou est peut être considéré comme une peau énergétique, l'énergie passe au toit par la façade nord pour alimenter tout le bâtiment. Le sous-sol également comprend des locaux mécaniques et unité de production. Renzo Piano et Richard Rogers utilisent les équipements techniques en harmonie avec l'enveloppe. La conception énergétique est présente dans le système de

surveillance informatique. Ce système permet de connaître les résultats d'une mesure analogique (température, pression, hygrométrie, débit...) et d'envoyer une commande ou d'effectuer un réglage. Ce type de système est également utilisé au Musée d'Orsay et à l'Institut du monde arabe. Pour ce qui concerne les modes de contrôle thermique, le Centre Georges Pompidou s'inscrit dans le mode génératif qui fait appel à un contrôle mécanique ou énergétique de l'ambiance, les équipements dans cet édifice sont extrait et placés à l'extérieur du bâtiment. En revanche, l'Institut du Monde Arabe et le musée d'Orsay sont, plutôt, compris dans le mode conservatif, qui utilise la sélectivité du verre, transparent au rayonnement visible.

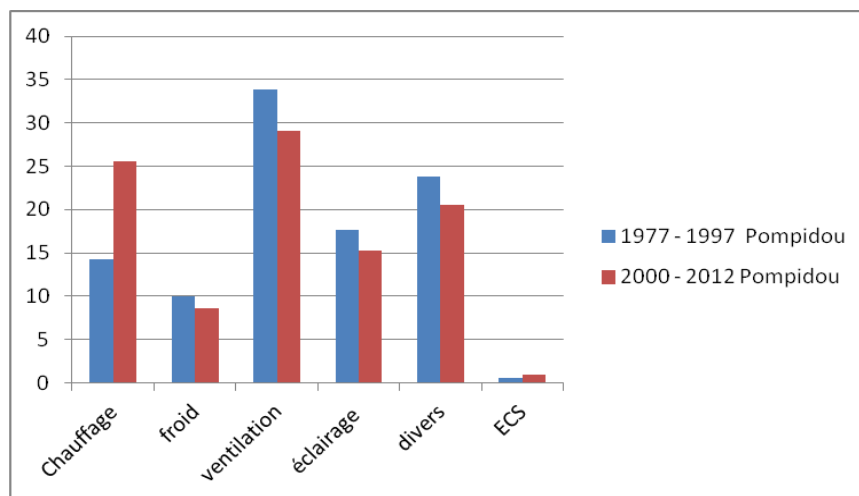


Figure 95: répartition de consommation énergétique avant et après les grands travaux de rénovation

Les résultats du DPE montrent la différence de performance énergétique de chaque bâtiment. Le musée d'Orsay est celui qui consomme le plus, suivi par le Centre Georges Pompidou. Ici, la réduction de la consommation a lieu grâce aux travaux de rénovation de 1997 à 2000, lorsque le système de chauffage électrique est remplacé par le chauffage urbain qui conduit à une économie d'énergie considérable. L'IMA consomme plus d'énergie en saison chaude qu'en saison froide, car il bénéficie d'apports solaires pendant l'hiver sur sa façade sud mais nécessite une climatisation importante afin de lutter contre la surchauffe de l'été.

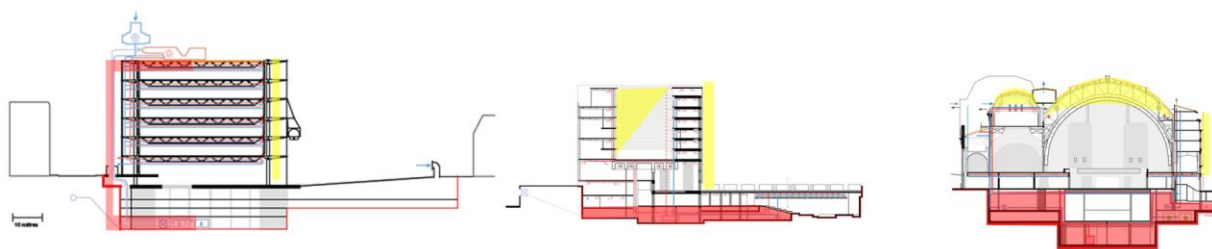


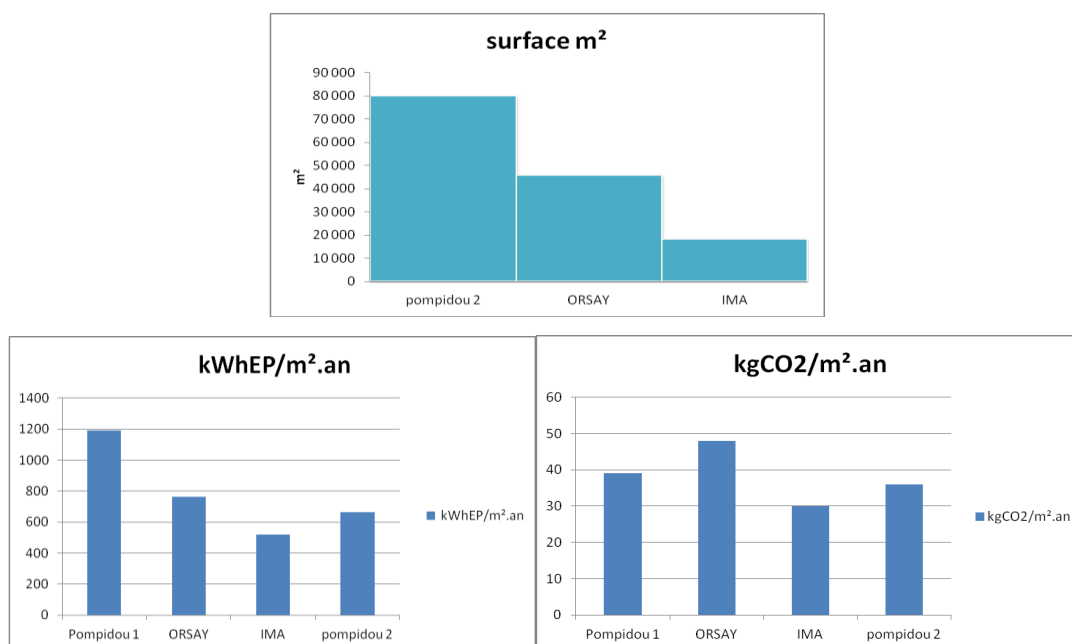
Figure 96: Zones énergétiques au Centre Pompidou, Ima, musée d'Orsay

Les trois bâtiments sont chauffés par la vapeur du réseau de la CPCU, un choix plus durable et moins cher par rapport au chauffage électrique. C'est le premier choix pour des bâtiments publics afin de garantir un niveau de confort thermique moins cher. Pour le Centre Georges Pompidou dessiné avant la crise pétrolière et construit après, les architectes font le choix du tout électrique. L'électricité est une source d'énergie industrielle nationale qui renchérit avec le prix du pétrole et du gaz. Des travaux de rénovation ont été nécessaires entre 1997 et 2000, pour refaire les circuits et réduire la consommation par contrat avec le CPCU. Des économies d'énergies sont réalisées dans les trois bâtiments, menées par la maîtrise d'ouvrage, grâce à des travaux de maintenance et d'entretien. Contrôler le renouvellement d'air : l'arrêter ou le diminuer dans les locaux non fréquentés. Un système de gestion et de surveillance facilite beaucoup ces opérations. Le système informatique est en liaison avec tous les différentes parties du bâtiment, une interruption est possible immédiatement. Pour l'éclairage, les monuments ont bénéficié largement des progrès réalisés dans les années 1990 dans les lampes halogènes haute pression dont la luminance lumineuse à triplée pour une même énergie électrique.

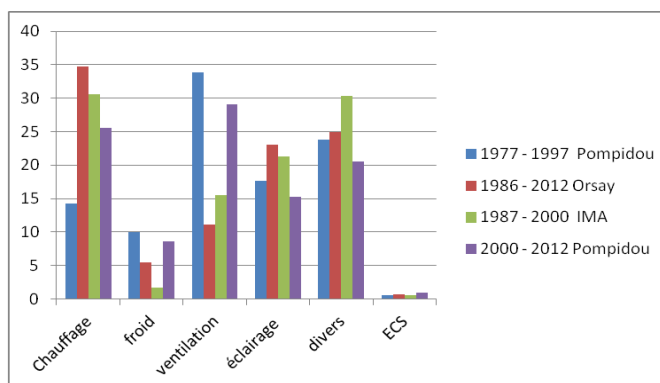
Exploitation des résultats et limites d'interprétation

L'exploitation des résultats globaux, énergie consommée et quantité de CO₂ rejetée par unité de surface, est entièrement soumise au travail d'archives. En effet, dans la chronologie propre à chaque bâtiment, ou à l'échelle entière du projet, le fonctionnement énergétique de chaque période significative doit être défini de façon exhaustive. Autant pour la recherche dans la littérature ou les échanges avec les services techniques en amont, que dans celle des données quantitatives (consommations, budgets, ...). Par la suite, la réalisation des DPE a pu bénéficier d'un travail d'archives précis. La question de la détermination de la part de chaque

poste de consommation relève du cas par cas, en accord avec la singularité de chaque bâtiment. L'évaluation de leur pertinence l'est donc aussi.



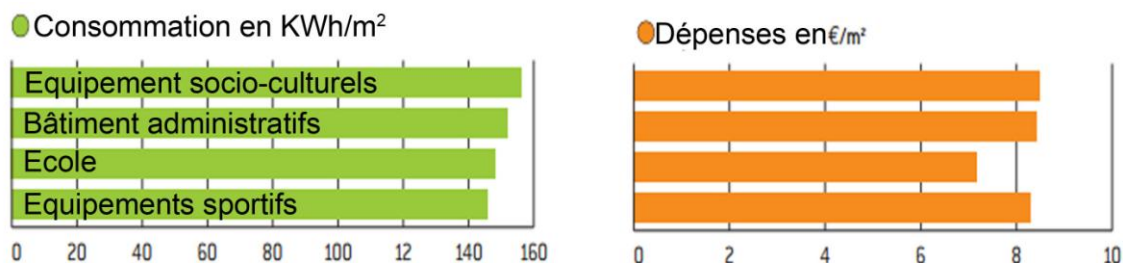
Les DPE ont été réalisés à l'aide des études énergétiques ou en collaboration avec les différents services techniques. On constate une relative cohérence des ratios pour des bâtiments ayant les mêmes usages comme le Centre Pompidou, l'IMA et le musée d'Orsay compte tenu de leurs différences architecturales. La détermination des parts relatives au chauffage et à la production d'eau chaude sanitaire dans la consommation CPCU peut se faire précisément par comparaison des relevés « été » et « hiver ». En analysant les résultats des DPE réalisés nous observons que la consommation d'énergie première par mètre carré par an est relative à la surface du bâtiment. Or, après les travaux des économies d'énergie effectués au Centre Pompidou, l'édifice passe, dans notre classement, de la première place à la deuxième, après le Musée d'Orsay. Cela montre l'efficacité des solutions utilisées dans ce bâtiment. Par contre, le musée d'Orsay dégage plus de chaleur (CO₂) par rapport aux deux autres bâtiments.



La répartition de la consommation totale montre qu'Orsay consomme le plus de chauffage, ce qui est logique eu égard au volume du bâtiment, surtout la nef qui exige une consommation plus importante que les autres édifices. La ventilation est plus importante à Pompidou car lors de sa construction, le débit d'air neuf est trois fois plus du débit exigée.

En effet, la volonté d'intégrer l'efficacité énergétique dans les bâtiments publics français est récente, la première réglementation thermique concernant les bâtiments publics revient à 1977. Or ce règlement était très léger par rapport à la réglementation thermique dans l'habitat. Il faut attendre 1988 pour avoir une réglementation thermique pour tout type de bâtiment. De nos jours, La France s'est engagée à diviser par quatre ses émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050. Outre la nécessité d'exemplarité des bâtiments du secteur public, ils représentent un potentiel important d'économie d'énergie pour atteindre cet objectif. La personne publique (l'État, ses établissements, les collectivités locales et territoriales) gestionnaire d'un patrimoine immobilier peut donc à la fois réduire fortement son budget de dépense d'énergie et contribuer sensiblement à l'engagement du pays dans le développement durable et dans la lutte contre le changement climatique.

Le coût global de la consommation énergétique des villes et communes s'élève à 2 000 M€/an, dont 75 % pour les bâtiments.



Source: sores

Les consommations énergétiques et les dépenses ramenées au m² pour les principales familles de bâtiments tertiaires communaux ne varient guère. Elles sont comprises respectivement entre 150 et 160 kWh/m² et entre 7 à 9 €/m².⁵⁸⁵

L'ensemble des éléments présentés ci-dessus met en évidence les enjeux en matière d'économies d'énergie sur le parc immobilier de l'État et des collectivités. Ces économies peuvent être réalisées sur un grand nombre de postes de dépenses : chauffage, climatisation, éclairage, électricité, eau chaude sanitaire, etc. Cependant, les personnes publiques ne

⁵⁸⁵ Optimisation de la performance énergétique des bâtiments publics par la mise en œuvre des Contrats de Partenariat, Gimélec - Tous droits réservés - Edition mars 2007

disposent pas forcément de toutes les compétences ni des ressources humaines et financières nécessaires pour exploiter au mieux ce gisement d'économies. Elles se trouvent souvent dans le cas suivant : des bâtiments et des équipements ayant le plus souvent une mauvaise performance énergétique et qui coûtent cher en énergie et en entretien, des moyens financiers limités pour investir dans un programme d'efficacité énergétique capable de réduire les consommations d'énergie. Bien que l'efficacité énergétique soit aujourd'hui une priorité, les utilisateurs et propriétaires de bâtiments publics continuent à gaspiller et par conséquent, à amoindrir leurs propres capacités d'investissement.

L'Union Européenne conduit une politique d'efficacité énergétique globale où les bâtiments publics doivent jouer un rôle exemplaire dans la consommation d'énergie et l'émission de CO₂. La directive européenne relative à l'efficacité énergétique du 25 octobre 2012 exige que :

« Article 4 : Rénovation des bâtiments

Les États membres établissent une stratégie à long terme pour mobiliser les investissements dans la rénovation comprenant notamment des politiques et mesures visant à stimuler des rénovations lourdes de bâtiments ;

Article 5 : Rôle exemplaire des bâtiments appartenant à des organismes publics

Chaque État membre doit rénover 3 % de la surface au sol totale des bâtiments appartenant au gouvernement central. Il incite les collectivités à faire de même.

Article 19 : Autres mesures visant à promouvoir l'efficacité énergétique

Les États doivent éliminer les entraves qui font obstacle à l'efficacité énergétique, en particulier en ce qui concerne: a) le partage des incitations entre le propriétaire et le locataire d'un bâtiment, pour éviter que ces parties ne renoncent à effectuer des investissements. b) les dispositions législatives et réglementaires ainsi que les pratiques administratives en matière de marchés publics et de budgétisation et comptabilité annuelles, afin d'éviter que les différents organismes publics ne soient dissuadés d'effectuer des investissements visant à améliorer l'efficacité énergétique »⁵⁸⁶.

⁵⁸⁶ La directive européenne relative à l'efficacité énergétique du 25 octobre 2012.

Conclusion

Paris n'a pu subir la première révolution industrielle (1770-1850) qu'en économisant ses ressources énergétiques — très peu de hauts-fourneaux mais beaucoup de fonderies — et en réduisant les dimensions des cheminées domestiques. Entre 1810 et 1840, L'économie d'énergie à Paris est estimée à un tiers⁵⁸⁷, autant qu'entre 1974 et 2004 : elle l'a été de 95% pour la soupe du soldat qui consomme 1kg de bois par jour en 1790 mais 50g en 1838.

Au XIX^e siècle, le coût élevé de l'énergie pousse chaque citoyen, surtout les plus modestes à limiter sa consommation de combustibles. Aussi les crises énergétiques préoccupent-elles les ingénieurs, les chimistes, les médecins et les savants académiciens — dont Joseph Fourier qui fonde la thermique. Un instant, sous la Monarchie de Juillet puis le Second Empire, soit 40 ans, le charbon de terre venu du nord, porté par canaux et chemins de fer vient libérer la capitale de ses contraintes calorifiques : les candélabres illuminent les nuits parisiennes, les calorifères habitent les caves, les machines à vapeur mécanisent l'industrie. Mais la crise du charbon, en 1873, marque le début d'une dépression de longue durée⁵⁸⁸ développant les innovations pour réduire la consommation de houille et de bois⁵⁸⁹. L'image d'un soleil thérapeutique est diffusée dans le contexte du rationalisme urbain lié à l'hygiénisme. Plus tard, la guerre de 1914-18 emprisonne la capitale dans le froid et la mort. Des difficultés énergétiques se répètent avec la crise économique de 1929 et se poursuit avec la seconde guerre mondiale puis avec les tickets de rationnement. En somme, du point de vue énergétique, depuis deux siècles, Paris subit autant d'années de vache maigre que d'années de vache grasse. Cette chronique n'est pas identique à Saint-Etienne, ni à Lille, ni à Sheffield, ni à Birmingham, ni à Pittsburgh.

⁵⁸⁷ GUILLERME, André, « Chaleur, chauffage... », op. cit.,

⁵⁸⁸ ESCUDIER, Jean-Louis. « Crises mondiales de l'énergie et mutations du système productif au XIX^e et au XX^e siècle : la crise charbonnière de 1873 et la crise pétrolière de 1973 ». *Revue économique*, vol 39, n° 2, 1988, p. 369-390.

⁵⁸⁹ Comment économiser le chauffage domestique et culinaire : notice sur les vues / Ministère de l'Instruction, publique et des Beaux-arts. Musée pédagogique. Service des projections lumineuses. 1918 ; Frémy, Edmond (dir.). *Encyclopédie chimique. Tome II.- Métalloïdes. Complément 1^{ère} partie : charbon de bois, noir de fumée, combustibles minéraux*, par MM. Urbain et Stanislas Meunier, Paris : Dunod, 1885.

La crise pétrolière de 1973 pousse les pays industriels à diversifier leurs ressources énergétiques pour chercher des alternatives au tout pétrole, dont la consommation, s'est banalisée depuis les années 1950. Elle bouleverse d'abord la consommation quotidienne des particuliers et des entreprises, alors que l'État voit se réduire ses taxes pétrolières destinées à réguler le marché public. La crise économique s'installe, le plein d'emploi disparaît, le chômage croît au rythme du prix du pétrole, etc. Réduire la consommation énergétique dans les constructions devient une nécessité.

La présente recherche s'est appuyée sur l'histoire technique et politique de l'énergie en Île-de-France afin de comprendre les pratiques liées à la consommation énergétique dans les bâtiments publics franciliens. L'énergie en tant que donnée caractéristique de la construction, et par conséquent de la vie du bâtiment, est le point de départ de notre réflexion. Les analyses ont permis d'apporter des éléments de réponse à quelques questions alors que d'autres méritent des approfondissements. Nous reprenons ci-après les éléments interrogés dans cette recherche.

Architecture hygiène, Architecture bioclimatique et économies d'énergie

Dès la fin de XIX^e siècle, les découvertes médicales de Pasteur et Koch jouent un rôle important pour l'architecture solaire⁵⁹⁰. Notre propos a tenté de montrer le transfert de la « révolution solaire » d'une architecture hygiéniste à une architecture bioclimatique après la crise pétrolière de 1974. En effet, des théories hygiénistes concernent principalement le début de XX^e siècle : les hôpitaux et les sanatoriums puis l'architecture du logement en Europe en adaptant des gradins-terrasses, de la ventilation naturelle, des balcons en saillie, de la peinture blanche, de grandes surfaces vitrées et une orientation principale méridionale des espaces. Ainsi, c'est la mise en place d'une architecture scientifique qui est explorée, s'inspirant du modèle hospitalier et des sanatoriums allemands⁵⁹¹.

L'architecture hygiéniste, dont les tendances principales sont l'héliothérapie, la ventilation – naturelle ou mécanique – se développe depuis Le Corbusier jusqu'aux années 1960, avec des solutions pour lutter contre la surchauffe des façades vitrées, tout en profitant des apports

⁵⁹⁰ Les premières théories solaires de cette période ont été avancées par des médecins, qui font un appel direct aux architectes pour les sensibiliser à ces questions. Aussi par des architectes hygiénistes comme Émile Trelat, fondateur de l'école spéciale d'architecture et qui a cherché à créer le diplôme d'architecture hygiéniste.

⁵⁹¹ L'aménagement des établissements publics : application aux sanatoriums et hôpitaux, chauffage, ventilation, éclairage, alimentation et stérilisation des eaux, désinfection / par André Turin,... ; [préf. de H. Lassaux] -H. Dunod et E. Pinat (Paris)-1906

solaire en façade. L'utilisation de climatiseur se diffuse un peu dans le tertiaire en France à la fin des années 1960.

La crise pétrolière, en 1974, marque une période de transition entre le temps de l'hygiène – paroi de verre propre et inaltérable, mécanisation des échanges avec l'environnement — et le temps de l'architecture bioclimatique et l'écologie urbaine, qui raisonne en termes de gestion des ressources et des déchets. Ici, les contraintes d'économies d'énergie se traduisent par l'utilisation massive de l'isolation extérieure et par le recours au vitrage sombre puis réfléchissant, limitant ainsi les charges climatiques. Pour répondre aux exigences énergétiques, des nouvelles techniques sont utilisées. Des solutions nouvelles sont mises en œuvre pour répondre à la complexité des fonctions de la paroi opaque (degré d'isolation, porosité à l'eau et à l'air...). Une technique de plus en plus fine apparaît dans la composition des enveloppes. Les architectes s'intéressent de manière croissante aux questions d'orientation, des échanges de chaleur de l'enveloppe avec son environnement, à l'utilisation d'« apport gratuit » provenant des rayonnements solaires. Le verre est utilisé de manière prépondérante dans les édifices publics. Ainsi, la façade légère d'aujourd'hui, est plus volontiers en verre : VEA (Verre Extérieur Attaché), verre pareclosé ou VEC (Verre Extérieur Collé).

Dans les années 1970 et 1980, l'architecture solaire se détache de la problématique hygiénique pour répondre aux questions de confort et d'économie d'énergie. Plusieurs projets sont réalisés en France dans le cadre d'opérations expérimentales lancés par « Plan Construction » pour répondre aux exigences de réglementation thermique. Une véritable culture plus technique que scientifique gagne les cabinets d'architecture, sensible, surtout après 1968 aux questions écologiques.

L'architecte et la thermique

Nous avons voulu aussi éclairer le lien entre l'architecte et le thermicien dans la construction, ceci après les nouvelles exigences de la réglementation thermique de 1974, qui donnent une importance nouvelle aux métiers de thermicien. Durant cette période charnière, caractérisée par une nouvelle politique d'économie énergétique, le petit nombre de thermiciens français voit leur quantité de travail s'accroître entre 1980 et 1985. Pour rendre les bâtiments moins consommateur en énergie et faire des économies de chauffage, les thermiciens sont confrontés à deux types de problèmes : thermique et structurel. Les problèmes de communication entre

architecte et thermicien complique souvent le travail de l'un comme de l'autre. Les architectes n'ont alors pas les moyens, ni les connaissances suffisantes concernant la thermique du bâtiment. Les écoles d'architecture commencent à s'intéresser à ce type de sujet dans les années 1970. Nous notons l'insuffisance d'enseignement de la thermique appliquée à l'École Spéciale d'Architecture comme à l'École Nationale des Ponts et Chaussées, l'École Spéciale des Travaux Publics et l'École Centrale des Arts et Manufactures. Il faut noter aussi que ces informations touchent principalement les élèves et les jeunes architectes dans les années 1970-1980, disponibles pour investir un sujet peu rentable à court terme. Peu d'architectes prennent conscience des questions thermiques dans leur travail de projet à l'issue de leurs d'études. Les résultats de l'appel d'offres de recherche du Plan Construction – CORDA. « Climat, Architecture et Forme Urbaines » sur les outils de conception montrent, cependant, le petit nombre d'architectes motivés par le thème et inscrits à l'ordre des architectes.

Le chauffage et l'économie d'énergie

Tout au long du XIX^e siècle, le chauffage connaît un développement rapide et riche dans les équipements et les systèmes divers utilisés. L'âtre de la cheminée, le chauffage central, le chauffage collectif, le radiateur, le poêle, le petit appareil d'appoints sont utilisés dans les pièces communes comme dans les bâtiments publics. Le chimiste Jean-Baptiste Dumas en fait l'inventaire dans les années 1830⁵⁹². Le métier de fumiste se développe, tandis que le ramoneur dauphinois devient un personnage de l'hiver parisien. Le chauffage urbain apparaît à Paris dans les années 1920 dans un souci d'économie d'énergie, Avec lui le nouveau métier de chauffagiste, technicien électricien, gazier, soudeur, s'insère dans le second œuvre de la construction. Les revues techniques se multiplient⁵⁹³. Les choix énergétiques se déploient aussi : bois, charbon de bois, charbon concassé, en vrac, en sac de boulets, coke, fioul, gaz et électricité. La réserve — pour l'hiver — de combustibles accessible par une trappe donnant sur la rue occupe une partie du sous-sol, comme les chaudières à vapeur pour le chauffage collectif.

La crise pétrolière de 1974 force le Français à faire des économies dans la consommation énergétique. L'utilisateur du fuel domestique voit ses charges augmenter d'environ 80 %⁵⁹⁴.

⁵⁹² Dumas, Jean-Baptiste, *Traité de chimie*, Paris, 1827, III, chap. 18.

⁵⁹³ Voir *Chauffage, ventilation, conditionnement* qui sort en 1923 (trimestriel) ; *Le chauffage industriel moderne* en 1925 (mensuel) ; *Combustion. Revue de la chaufferie moderne* de 1934 à 1936 ; enfin, *Chaud, Froid, plomberie*, en 1947.

⁵⁹⁴ Le prix du fuel domestique à Paris, tarif vrac 2 à 3 m³ est passé de 29 f/hl en juin 1973, à 53 F/hl en janvier 1974.

L'énergie devenant très chère, les économies deviennent une nécessité impérieuse, pour modérer le budget « combustible » du consommateur. La première réglementation thermique en 1974 limite la température intérieure de locaux à 20 °C. L'Etat s'immisce dans l'immeuble pour imposer des obligations au propriétaire comme au locataire : le secteur, on ne peut plus privé, intime, du logement est surveillé, contrôlé par la puissance publique ; à partir de 1979 c'est au tour du secteur tertiaire. Le chauffage devient alors un appareil répressif d'Etat⁵⁹⁵.

La politique nucléaire et les prix bas de l'électricité conduisent à développer le chauffage électrique dans le neuf comme dans l'ancien. Or, le prix de l'électricité augmente également ce qui ouvre la porte au chauffage au gaz (naturel) au chauffage solaire et au chauffage par géothermie. Le réseau du chauffage urbain ne cesse de s'agrandir pour alimenter 40 % de parisiens.

Finalement, chaque augmentation de prix de l'énergie s'accompagne de mutations dans les systèmes de chauffage. On cherche toujours à dépenser moins dans des conditions de confort thermique égal ou supérieur. Cela conduit à concevoir de nouveaux systèmes de chauffage : —biénergique, synergétique — qui utilise deux ou trois types d'énergie dont au moins une énergie renouvelable.

La politique Française et les économies d'énergie

Nous avons présenté le contexte énergétique du bâtiment, la réglementation thermique et les labels français, puis dressé l'état de l'art des opérations internationales en termes de labels, d'applications et de technologies. La crise de 1974 a ainsi changé la manière de penser le bâtiment. L'obligation de réduire la consommation énergétique renforce les innovations en ce qui concerne l'isolation et les techniques qui utilisent les énergies renouvelables.

Dans le secteur des bâtiments publics, la première réglementation thermique date de 1976 ; elle est largement modifiée et complétée en 1988, quand elle intègre la climatisation. Des débats ont lieu dans la deuxième moitié des années 1980 : la réglementation jugée lacunaire est contestée afin d'intégrer les apports solaires. Chaque réglementation thermique apporte de nouvelles exigences afin de réduire la consommation énergétique. la RT 2000 concerne les constructions neuves des secteurs résidentiels et non résidentiels, elle exige une réduction de 10 % pour l'habitat et de près de 25 % pour le non résidentiel par rapport à la RT 1988. Elle porte sur la totalité des consommations d'énergies : de chauffage, de

⁵⁹⁵ Althusser, Louis, « Idéologie et appareil idéologique d'Etat », *La pensée*, 151, juin 1970, p. 67-125

consommation d'eau chaude sanitaire, de climatisation et même d'éclairage pour le secteur non résidentiel. Elle introduit une exigence de confort d'été en prenant en compte la température intérieure maximale. La RT 2005, exige l'amélioration de la performance énergétique des constructions neuves d'au moins 15 % par rapport à RT 2000 et un objectif de 40 % en 2020 : limiter le recours à la climatisation et, finalement, maîtriser la demande en électricité. Mais cette évolution réglementaire peut-elle vraiment nous conduire à la consommation zéro énergie dans la construction ?

Les bâtiments publics sont-ils économes en énergie ?

S'occuper des économies d'énergie dans des bâtiments publics, c'est quelque part chercher à savoir comment se positionne la puissance publique vis à vis de la société. On a vu que la crise pétrolière de 1974 permet à l'État de mettre en place une sorte de police économique pour justifier son immixtion dans le secteur privé. Cet appareil répressif sert-il aussi dans les lieux publics ?

Malgré des efforts faits pour réduire les consommations énergétiques, les bâtiments publics restent de grands consommateurs. Les bâtiments monumentaux — signes de la puissance religieuse au moyen-âge et de la puissance régaliennne depuis Louis XIV — restent très volumineux, même après la crise pétrolière. Ils ne subissent pas les mêmes obligations réglementaires ou bien ces obligations sont légères, par rapport au règlement thermique de l'habitat. C'est le cas du Centre Georges Pompidou qui malgré la bonne volonté des architectes et des ingénieurs, reste très gourmand en énergie. Il est totalement dépendant de l'électricité et consomme trois fois plus d'énergie que des bâtiments de même taille et fonction. Lors de sa construction en 1971, la question énergétique n'est même pas évoquée par le maître d'œuvre.

En effet, l'expression plastique et fonctionnelle est plus importante pour l'architecte dont le génie ne peut être embarrassé par la vulgarité des chiffres. Pour Jean Nouvel, le traitement de la paroi de l'Institut du Monde Arabe est, comme chez Le Corbusier, appartient à l'esthétique architecturale. Peu importe que le monument consomme beaucoup d'énergie pendant l'été pour lutter contre la surchauffe due à sa façade méridionale. Cette consommation correspond à des besoins accrus de ventilation afin de réduire la température intérieure des locaux.

Pour le musée d'Orsay, ancienne gare vouée à la démolition, réhabilitée pour un coût exorbitant, une décision de créer un dispositif de stockage thermique est retenue pour assurer

une optimisation des consommations énergétiques, Mais les espaces d'exposition situés dans la grande nef posent un problème lié à la verrière en double peau, à la structure métallique et au grand volume de la nef.

Le raccordement au réseau de vapeur de la CPCU permet souvent des économies dans le budget annuel des bâtiments publics à Paris. Le Centre Pompidou a eu deux périodes de vie différentes : la première, de sa construction à 1997 où le bâtiment est entièrement dépendant de l'électricité (alors plus économique), la deuxième vie commence après rénovation de 1997 à 2000 où le chauffage et l'eau chaude sont alimentée par le réseau de la CPCU, ce qui entraîne une économie de 50 % de la consommation énergétique annuelle.

Le travail de maintenance joue aussi un rôle important dans les économies d'énergie. C'est parfois la seule solution disponible pour assurer une économie comme dans le cas de l'IMA où la propriété intellectuelle de Jean Nouvel restreint les solutions qui pourraient permettre d'ajouter des éléments étrangers aux façades d'origine. Dans les bâtiments étudiés, la maîtrise d'ouvrage propose souvent de changer les modes d'éclairage par des appareils plus performants qui conduisent à une économie de 25 % entre 1978 et 1981. Dans le cas de l'IMA l'économie est limitée à 15% (en 2000). En outre, l'informatisation du contrôle et de la gestion énergétique conduit à une économie d'énergie importante surtout en ce qui concerne le renouvellement d'air qui peut être éteint pendant la nuit ou réduit dans les locaux non fréquentés par le public. Il est également possible de sensibiliser les usagers à l'importance d'économiser l'énergie et les faire participer par des gestes personnels. Malgré ces efforts, la facture électrique n'a cessé d'augmenter poussant ainsi la maîtrise d'ouvrage à exiger des économies par la dépense énergétique globale du bâtiment. En fait, la puissance publique, ici le Ministère de la Culture, longtemps considéré comme « l'exception française », applique mollement les contraintes énergétiques, que ce soit pour la maintenance ou les travaux neufs. L'Etat fait ce qu'il veut : il est comme la femme de César, au-dessus de tout soupçon. A ce niveau monumental des trois architectures, les ingénieurs comme les architectes s'engagent si peu dans l'économie. On est bien loin de « l'esprit du bien public » qui régnait parmi les ingénieurs du Génie ou des Ponts et Chaussées au début du XIXe siècle, soucieux de montrer par les monuments — casernes, tribunaux, écoles — les innovations thermiques pour servir de modèle. En somme, les économies d'énergie sont moins une cause publique qu'une cause privée.

Perspective

La recherche a fait le point sur des rapports des économies d'énergie, des techniques récentes dans le domaine de la construction et la conception des espaces et des lieux. Elle montre qu'être économe en énergie n'est pas un objectif récent ou un impératif absolu apparu soudainement depuis les crises pétrolières des années 70. Elle met en avant des principes d'économie dont découlent des modes opératoires énergétiques collectifs. Les réglementations thermiques obligent les maîtres d'ouvrages et les maîtres d'œuvres d'adopter des solutions économes en énergie. L'isolation thermique renforcée, le vitrage hyper isolant, l'énergie renouvelable conduit à économiser le chauffage. L'utilisation de lumière artificielle plus performante, le réglage du renouvellement d'air et la sensibilisation des usagers à la nécessité d'éteindre les appareils électriques sont des gestes qu'il faudrait généraliser dans notre vie quotidienne. Les études sur les bâtiments publics peuvent être poursuivies dans la durée par type de programmes. Pour le logement et le tertiaire dans Paris on pourrait développer une étude complémentaire. Le rapport entre densité urbaine et économie d'énergie, d'un point de vue technique et politique, pourrait être aussi un nouvel axe de recherche

Sources et Références

Archives

Politique de maîtrise d'énergie dans les bâtiments de l'État, 1982-1985 ; Économies d'énergie dans les administrations de l'État : rapport d'analyse du système danois par Sens Rejn, 1985 ; Rapport de diagnostic énergétique, s.d. - Thermographie infrarouge : notes et relations avec l'Institut géographique national, 1980 ; Diagnostic thermique : rapports, 1983-1985 ; Promotion de l'énergie solaire, projet de diffusion de chauffe-eau solaires individuels : étude, notes, 1983-1984. Agence Française Pour La Maîtrise de l'Énergie (AFME), *Archives Nationale de Fontainebleu*. 19940249/69.

Archives Centre Georges Pompidou. 2009001/047.

BPI ; Branchement CPCU 1996 - 1999. Archives Centre Georges Pompidou. 2000046/052.

Centre de Documentations, Musée d'Orsay, Paris, FONDS SNCF : Gare d'Orsay. ODO 1996-28-11.

Centre de Documentations, Musée d'Orsay, Paris, FONDS SNCF : Gare d'Orsay. ODO 1996-28-27.

Centre de Documentations, Musée d'Orsay, Paris, FONDS SNCF : Gare d'Orsay. ODO 1996-28-7.

Centre de Documentations, Musée d'Orsay, Paris, FONDS SNCF : Gare d'Orsay. ODO 1996-28-9.

Climatisation 1977 à 1982. DBS. Archives Centre Georges Pompidou. 92038/142.

Comptes rendus des réunions des 26 juin et 17 juillet 1986 "Plan construction et constructions publiques : l'exploitation et la maintenance des constructions" Notes manuscrites. PROGRAMME DE RECHERCHE ET D'EXPÉRIMENTATION BÂTIMENT ÉCONOME. *Archives Nationale de Fontainebleu*.19980218/ 11.

Conception : budget et programme : panorama 1980-1990 : Correspondances avec l'AFME, le cabinet d'étude BEGO, et l'UNFOHLM ; notes manuscrites, de synthèse concernant principalement les actions et le financement de H2E85 et BE (classés par ordre chronologique de 1980 à 1990) ; Programme AFME concernant H3E90 : les enjeux de la maîtrise de l'énergie dans l'habitat existant, dec 1985. PROGRAMME DE RECHERCHE ET D'EXPÉRIMENTATION BÂTIMENT ÉCONOME. *Archives Nationale de Fontainebleu*.19980218/ 2 – 3 – 21.

Dossiers 1997 – 2000. Archives Centre Georges Pompidou. 2000046/054.

EDF Divers 1977 – 1988 ; économie d'énergie 1983 – 1987. DBS Direction. Archives Centre Georges Pompidou. 92038/174.

Le programme bâtiment économe, février/mars 1987 : Textes de définition et objectifs ; Le programme bâtiment économe et la maîtrise de l'énergie : Texte de rappel des objectifs. PROGRAMME DE RECHERCHE ET D'EXPÉRIMENTATION BÂTIMENT ÉCONOME. *Archives Nationale de Fontainebleu*.19980218/1

Liste des équipes lauréates à l'appel d'offres 15/09/87, fichier des entreprises spécialisées dans le domaine des énergies thermiques ; marché n° 8761436002237501 du 30/11/87 suiveur E. Philippe."Premier colloque européen sur l'isolation thermique extérieure des façades : une technologie européenne 3-4/11/88"CSTB ; Diverses documentations thermiques et ventilations ; système F Fougerolles : Les maisons traditionnelles prêtes à finir. PROGRAMME DE RECHERCHE ET D'EXPÉRIMENTATION BÂTIMENT ÉCONOME. *Archives Nationale de Fontainebleu*.19980218/6.

Musée d'Orsay, archives nationale de Fontainebleu. 870301/14.

Plans architect. DCE. Archives Centre Georges Pompidou. 2000019/051 - 052.

Projets particuliers de bâtiments présentés pour le prix Architecture, ambiance, énergie. Équipement, logement, transports et espace, Architecture et urbanisme, Enseignements et professions. *Archives Nationale de Fontainebleu*. 19990195/22 – 23.

Propositions d'actions sur le thème Architecture, urbanisme et énergie, notes et correspondance, 1983-1986 ; Colloque Energiville : Présentation du thème Climat et confort de l'espace, participations, compte-rendus de réunion, rapport final, 1987 ; Stratégie de lancement du grand prix Architecture, ambiance, énergie, notes et correspondance, 1987 ; Synthèse thermique des projets mentionnés et primés, rapport de l'Agence française pour la maîtrise de l'énergie, 1989. Équipement, logement, transports et espace, Architecture et urbanisme, Enseignements et professions. *Archives Nationale de Fontainebleu*. 19990195/22.

Rapport consommation électrique climatisation 1979 à 1982. DBS. Archives Centre Georges Pompidou. 92038/160.

Rapports d'activité 1983 – 1987. DBS Direction. Archives Centre Georges Pompidou. 92038/078.

Recherches et expérimentations sur l'isolation par l'extérieur ; Consultation "Produits et systèmes d'isolation thermique par l'extérieur" : relevé de décision de jury du 28.08 et 16.10.1986 ; Consultation "Analyse de la valeur de l'isolation thermique par l'extérieur" H3E90 ; Consultation "Abaissement des coûts de réalisation de l'isolation thermique par l'extérieur" : texte de l'appel de propositions ; PROGRAMME DE RECHERCHE ET D'EXPÉRIMENTATION BÂTIMENT ÉCONOME. *Archives Nationale de Fontainebleu*.19980218/3.

«Réaménagement intérieur du Centre Georges Pompidou, Centre Georges Pompidou, Dossier cantonnement, courriers techniques », Aménagement, archives du Centre Georges Pompidou, 2000W046/054.

Recherches et expérimentations sur l'isolation par l'extérieur. PROGRAMME DE RECHERCHE ET D'EXPÉRIMENTATION BÂTIMENT ÉCONOME. *Archives Nationale de Fontainebleu*.19980218/19 – 20 – 33.

Relevés de consommation par tour par mois 2000. DBS. Archives Centre Georges Pompidou. 2006021/002.

Sources

«Diagnostic Énergétique : Institut du Monde Arabe », Rapport n° 9591.94.131 du 10-12-1994, SOCOTEC.

« L'appareil de chauffage électrique dit (électro-vapeur », *La Science et la vie* n° 59, novembre 1921.

« L'économie régionale en 1980 : population, emploi, comptes ». *Les collections de l'INSEE*, volume R 31, Avril 1978.

« L'efficacité énergétique dans la Communauté européenne - Vers une stratégie d'utilisation rationnelle de l'énergie », COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES, Bruxelles, le 29.04.1998 COM(1998) 246 final, 28 p.

AICVF-ADEME, « Bâtiments à hautes performances énergétiques – Hôtels–Restaurants », Pyc Édition, 1992.

ALEXANDROFF, George. LIEBARD, Alain. *L'Habitat solaire, comment ?* Paris : l'équerre, 1979, 111 p.

ALEXANDROFF, Georges, ALEXANDROFF Jeanne-Marie. *Architectures et climats : soleil et énergies naturelles dans l'habitat*. Paris : Berger-Levrault, 1982, 379 p.

Amélioration de l'isolation thermique des fenêtres et portes. *Technique d'amélioration de l'habitat existant*, Paris : EDF, mai 1984, 44 p.

Aménagement (l') des établissements publics : application aux sanatoriums et hôpitaux, chauffage, ventilation, éclairage, alimentation et stérilisation des eaux, désinfection / par André Turin,... ; [préf. de H. Lassaux] -H. Dunod et E. Pinat (Paris)-1906.

ANTHONAY, Léon. « *Appareils et procédés généraux du chauffage et de la ventilation* », Rapport général de l'exposition universelle internationale de 1900 à Paris, Imprimerie nationale, Paris, 1902-1906, Classe 74.

ARCET (D'), Jean-Pierre-Joseph. et GROUVELLE, Philippe. *Collection de mémoires relatifs à l'assainissement des ateliers. des édifices publics et des habitations particulières*, Paris : L. Mathias (Augustin), 1843, Vol. 1, xxxvi- 292 p.

Art. 1 de 18 septembre 1922 du Préfet de la Seine qui précise la responsabilité dans tout ce qui concerne l'entretien des bâtiments scolaire. *Recueil des actes administratifs de l'année 1922*, partie municipale, première section, N° 9, mois de septembre, 27p.

BARLES, Sabin. *La ville délétère : médecins et ingénieurs dans l'espace urbain XVIIIe-XIXe siècles*. Seyssel : Champ Vallon, (coll «Milieux »), 1999, 375 p.

BÂTIMENTS ÉCONOME PROGRAMME 1987, ARCHIVES NATIONALES DES FONTAINEBLEU, 19980218.

BEAURRIENNE, Auguste. « Production et distribution d'énergie calorifique à domicile à un quartier de Paris », *Mémoires et comptes rendus des travaux de la Société des Ingénieurs Civils de France*, Paris,

1911, p. 469-508.

BELTRAN, Jean-Pierre. et WILLIOT, Alain. *Le noir et le bleu : 40 ans d'histoire de gaz de France*. Paris : Belfond, 1992, 332 p.

BERNARD, P.A., LERVAT, J.P., *Rapport de l'analyse énergétique du Centre Georges Pompidou à Paris. 23/12/1982*, Cabinet Bernard, p. 23, Archives du Centre Georges Pompidou, 92038/174, DBS direction, économie d'énergie 1977-1988.

BONAITI Jean-Pierre, BOURGEOIS Bernard, GIROD Jacques, *Évaluation du potentiel de développement des réseaux de chaleur en France, par ville et par ZEAT, à l'horizon 2000*, Grenoble : Ed, février 1982, 68p.

BONHOMME, André. *Isolation thermique des bâtiments*. France : Moniteur, 1978, 726 p.

BORDAZ, Robert. *Entretiens robert Bordaz, Renzo Piano*. Paris : Cercle d'Art, 1997, p. 11-27.

BOUHOMME, André. *Isolation thermique des bâtiments*, France : Moniteur, 1978, 726 p.

CANIN, F. DABAT, R. IZARD, Jean-Louis. SAUREL, G. *Architecture et données de l'Environnement. Méthodologie de la conception architecturale bioclimatique*. Marseilles, 1978.

Carle Rémy, *L'électricité Nucléaire*, p. 127.

Catalogue De Dietrich : chauffage eau chaude sanitaire toutes énergies 1982, 121 p.

CHASSANG, Pierre. *Chaudes-Aigues une description, une histoire*, Aurillac, 1982, 335 p.

CHÂTEAU, Théodore. *Technologie du bâtiment*. Paris : Librairie d'architecture de Bance, 1863, 2 vol.

CHATELET, Alain. Ambiance et écologie. *Les Cahiers de la Recherche Architecturale*. Marseilles : Parenthèses, 1998, 42/43, p. 117-125.

CHEVALLIER, Louis. *Classes laborieuses et classes dangereuses à Paris dans la première moitié de XIXe siècle*, Plon, 1958.

CHICHÉ, Patrick et HERZEN, Michel. *Architecture et démarche énergétique*, Orbe : (éd) J.-R. MULLER, 1985, 107 p.

Comment économiser le chauffage domestique et culinaire : notice sur les vues / Ministère de l'Instruction, publique et des Beaux-arts. Musée pédagogique. Service des projections lumineuses. 1918

Communication de la commission du 13 mai 1987, « pour la poursuite de la politique d'efficacité énergétique dans la communauté européenne », (COM (87) 223 final)

Conservation (de la) de l'énergie à l'architecture bioclimatique, *Supplément au bulletin d'information inter établissement*, n°12 Février 1976, Institut de l'environnement, Nanterre.

CREMNITZE, Jean Bernard. *Architecture et santé, Le temps du sanatorium en France et en Europe*. Paris : Picard, 2005, 161 p.

Décision 96/737/CE du Conseil du 16.12.97 concernant un programme pluriannuel pour la promotion de l'efficacité énergétique dans la Communauté - Save II.

DERVIEUX, Véronique. et Alain. *Éléments d'analyse architecturale*, 14 novembre 2007, 20 p.

DEVAL, Jacques. et MINARD, Jean-Pierre. École énergie. Bulletin d'Information Architecturales, Paris : IFA, 1986, 19 p.

Diagnostic thermique du Centre Georges Pompidou, Rapport : Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie, mars 1986.

Directive 93/76/CEE du Conseil de 13 septembre 1993 visant à limiter les émissions de dioxyde de carbone par une amélioration de l'efficacité énergétique (SAVE), *J.O.C.E.* n° L 237 de 22 septembre 1993, p. 28 – 30.

Discussions de la séance du 9 février 1934, In : *Mémoires et comptes rendus des travaux de la Société des Ingénieurs Civils de France*, Paris, 1934, p. 105.

Dumas, Jean-Baptiste, *Traité de chimie*, Paris, 1827.

DUMONT, Marie-Jeanne. *Le logement social à Paris 1850-1930, les habitations à bon marché*, Liège : Mardaga, 1991, 192 p.

Écoles économes en énergie : 38 projets. Paris : le Moniteur, 1984, 239 p.

Énergétique des bâtiments, 3 vols, Coordonnés par R. DEHAHUSSE, Pyc édition, 1988.

Entretien avec Jean Prouvé. Propos recueillis par Pierre L. Debomy. *CIMUR*, 1968, n° 33.

ETLIN, Richard. L'air dans l'urbanisme des Lumières, In : *Dix-Huitième siècle*. Le sain et le malsain, n°9, 1977, p. 123-134.

FAURE D, La conseillère ménagère à EDF, *Bulletin d'histoire de l'électricité*, La femme et l'électricité, lieu : Ed, Juin-Décembre 1992.

FIJALKOW, Yankel. *La construction des îlots insalubre, Paris 1850-1945*. Paris : L'Harmattan, 1998, 273 p.

Frémy, Edmond (dir.). Encyclopédie chimique. Tome II.- Métalloïdes. Complément 1ère partie : charbon de bois, noir de fumée, combustibles minéraux, par MM. Urbain et Stanislas Meunier, Paris :Dunod, 1885.

GAUZIN-MULLER, Dominique. *Enseignement de l'architecture en France Comment intégrer une approche éco-responsable*. Rapport dans le cadre du projet européen EDUCATE, avril, 2010, 146 p.

GENDARME, René. Réflexions sur la politique énergétique européenne. In: *Revue économique*. Volume 13, n°4, 1962. pp. 505-520.

GIVONI, Brauch. *L'homme, l'architecture et le climat*. Paris : Moniteur, 1978, 460 p.

GUADET Julien, Les devoirs professionnels de l'architecte, In : *L'Architecture*, 10 août 1895, 288 p.

Guide sectoriel. AICVF-ADEME, « Bâtiments à hautes performances énergétiques – Bureaux », Pyc Édition, 1993.

Guide sectoriel. AICVF-ADEME, « Bâtiments à hautes performances énergétiques – Enseignement », Pyc Édition, 1993.

Guide sectoriel. AICVF-ADEME, « Bâtiments à hautes performances énergétiques – Santé », Pyc Édition, 1993.

GUILLERME, André, « International exhibitions in the late nineteenth century as a showcase for demountable army field huts : a protohistory of prefabrication in building », *Engineering History and Heritage*, 2012, vol. 4, p. 337-344.

GUILLERME, André. Chaleur et confort, L'introduction du confort à Paris sous la restauration. In : *History of Technology*, Londres, vol. 14, 1992, p. 16 - 53.

GUILLERME, André. *La naissance de l'industrie à Paris*. Seyssel : Champ Vallon, 2009, 432 p.

GUILLERME, André. *Les Temps de l'eau : la Cité, l'eau et les techniques*. Seyssel : Champ Vallon, 1993, 263 p.

HERZOG, Thomas. NATTERER, Julius. *Habiller de verre et de bois*. Lausanne : Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1984, 138 p.

Isolation thermique des murs par l'extérieur. *Technique d'amélioration de l'habitat existant*, Paris : EDF, juillet 1986, 60 p.

Isolation thermique des murs par l'intérieur. *Technique d'amélioration de l'habitat existant*, Paris : EDF, décembre 1985, 56 p.

Isolation thermique des soubassements et planchers bas, *Technique d'amélioration de l'habitat existant*, Paris : EDF, novembre 1984, 52 p.

Isolation thermique des toitures des logements existants. *Technique d'amélioration de l'habitat existant*, Paris : EDF, 52 p.

JAUDIN Florence, LEMALE Jean, *La Géothermie, une énergie d'avenir / Une réalité en Ile de France*, Paris : Agence régionale de l'environnement et des nouvelles énergies Ile-de-France, 1998, 118p.

JOLY, Victor Charles. *Traité pratique du chauffage, de la ventilation, et de la distribution des eau dans les habitations particulières : à l'usage des architectes, des entrepreneurs, et des propriétaires*. Paris : J. Baudry, 1869, ix-208 p.

L'isolation thermique par l'extérieur. *CSTB*, observatoire technico-économique du bâtiment, 1985, 30 p.

L'opinion européenne et les questions énergétiques en 1984, *Rapports Eurobaromètre spéciaux* 17, 10/1982, 89 p.

L'opinion européenne et les questions énergétiques en 1984», *Rapports Eurobaromètre spéciaux* 25, 7/85, 110 p.

L'opinion européenne et les questions énergétiques en 1987, *Rapports Eurobaromètre spéciaux* 36, mai 1988, 191 p.

La géothermie basse énergie, évaluation de sa contribution au bilan énergétique français, Bureau de Recherche Géologiques et Minières, septembre 1982.

LALOUX Victore, *principes qui nous ont guidés dans l'étude de la gare du quai d'Orsay*.

LEROI-GOURHAN, André. *L'homme et la matière*. Paris : Albin Michel, 1943, 367 p.

LEROUX, Robert. La climatologie de l'habitation. In : *Annales ITBTP*, 28 février 1946, Tours, Arrault, 1946, 18 p.

L'opinion européenne et les questions énergétiques en 1986, *Rapports Eurobaromètre spéciaux* 32, 1/88, 176 p.

L'opinion européenne et les questions énergétiques en 1991. Eurobaromètre, 57, Commission des Communautés Européennes, 111 p.

Meadows, Donella. RANDERS, Jorgen and Meadows, Dennis. *The Limits to Growth. A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. New-York, Universe Books, London, Earth Island Ltd., 1972, 205 p. Traduit de le l'anglais par Jacques Delaunay. Préface de Robert Lattès. – Paris, Fayard, 1972, 314 p.

MEADOWS, Donella. RANDERS, Jorgen. and MEADOWS, Dennis. *Limits to Growth. The 30-Year Update*. Chelsea Green Publishing, London, Washington : Earthscan, 2004, 338 p.

MENGIN, Christine. *Guerre du toit et modernité architecturale : loger l'employé sous la république de Weimar*. Paris : Publications de la Sorbonne, 2007, 540 p.

MESLAND, Pierre. *Avantages des ossatures métalliques et des murs-rideaux : Ecurtain-wallse, dans la construction rapide et économique d'immeubles*, 1957.

MESTELAN, Patrick, *L'ordre et la règle*, Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, 2005, p. 107.

MISSENARD, André. Le chauffage radiant, In : *Architecture d'Aujourd'hui*, n°5, 1935, p. 35 - 36.

MRU, SEITZ, Frédéric. *Architecture et métal en France, 19^e et 20^e siècle*. Paris : Éditions de l'École des hautes études en sciences sociales, 1994,

NATHAN, Silver. *The making of Beaubourg: a building biography of the Centre Pompidou*, Paris: Cambridge, Mass, 1994, 206 p.

NESSI, André. Étude du point de vue thermique de la structure des parois de bâtiments. In : *Annales ITBTP*, janvier-février 1936, pp 59-60.

NESSI, André. Propriétés thermiques des matériaux de construction : étude de la transmission discontinue de la chaleur à travers les parois des bâtiments. *Bulletin de la Société d'encouragement. Pour l'industrie nationale*, avril 1932, p. 289- 314.

NICOLAS, Frédéric. OLIVE, Gille. VAYE, Marc. et al, Pour une approche bioclimatique de l'architecture. Rapport, Compte de la recherche et du développement en architecture, 1978, 159 p.

NICOLAS, Frédéric. VAYE, Marc. A l'heure solaire. In : *Supplément au Bulletin d'information inter-établissement*, n° 46, mars 1980, 10 p.

NICOLAS, Frédéric. VAYE, Marc. Énergie solaire et architecture. In : *Supplément au Bulletin d'information inter-établissement*, n° 22, mars 1977, 8 p.

NICOLAS, Frédéric. VAYE, Marc. Sun power et/ou save energy. In : spécial USA, *Supplément au Bulletin d'information inter-établissement*, n°15, mai 1976, 8 p.

Note à l'attention de M. Jean Mahea, le 27 mai 1986, p. 5, archives Centre Georges Pompidou, 92038/174, DBS direction, économie d'énergie 1977-1988.

Note à M. Million de la part de GESTEC, Taxe municipale sur l'éclairage, Paris, le 2 janvier 1980, archives Centre Georges Pompidou, 92038/174, DBS direction, économie d'énergie 1977-1988.

Note C.G. n° 19 du 21 juillet 1983, Document SETEC.

Note n° 18 du 11-04-83, G. BUBOS, Document SETEC-Bâtiment.

Notice explicative Installation d'un dispositif de tuyauterie permettant d'assurer le chauffage de l'hôtel à l'aide de locomobiles pendant les périodes d'inondations. Centre de documentations du Musée d'Orsay, Fonde S.N.C.F, Gare d'Orsay, ODO 1996-28-27-6, Paris, 1910.

Notice sur les installations électriques pour la traction des trains sur le prolongement de la ligne d'Orléans au quai d'Orsay et l'éclairage des établissement, Paris, Exposition Universelle de 1900, Compagne de Chemin de Fer de Paris à Orléans. Centre de documentations du musée d'Orsay, Fonds S.N.C.F, Gare d'Orsay, ODO 1996-28-20-6, pp. 4-5.

PERLÈS, Catherine. *Préhistoire du feu*. Paris - New York - Barcelone - Milan : Masson, 1977, 180 p.

PIANO, Renzo. *Carnet de travail*, Paris : seuil, 1997, 288 p.

PIANO, Renzo. *Un regard construit*. Paris : Centre Pompidou, janvier, 2000, 157 p.

Plan Construction, Compte-rendu de la réunion du 17 Juillet 1986, « Plan Construction et Constructions Publiques : l'exploitation et la maintenance des construction », 17 juillet 1986.

Plan Construction, Compte-rendu de la réunion du 26 juin 1986 « Plan Construction et Constructions Publiques », 26 Juin 1986.

Prendre en Compte l'exploitation et la Maintenance dans la conduite de projet immobilier, Outil n°1, centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques, 2002, juin,

17 p.

Procès-verbal d'essais, 29-10-1984, M. CHAUNAC, Société F2E.

Question sur la théorie physique de la chaleur rayonnante, In : *Annales de Chimie et de Physique*, 1817 : 236 et œuvres, II.

RAOULT, Michel. *Histoire du chauffage urbain*. Paris : L'Harmattan, 2008, 357 p.

Rapport du CEBTP, Centre Expérimental de recherches et d'études du Bâtiment et des Travaux Publics, du 8-76-86, Document SETEC.

REBEYROTTE, Eric. Énergies nouvelles et villes nouvelles. *PCM*, janvier 1982, p 42-44.

REY, Augustin. Comment chauffer les habitations populaires - Chauffage central par groupe d'immeubles. *Compte rendu de la 37e session Clermont-Ferrand 1908 de l'Association Française pour l'avancement des sciences*, Masson, Paris, 1909, p. 1376-1388.

REY, Augustin. Chauffage d'immeubles administratifs urbains situés dans un même rayon au moyen d'une usine centrale. In : *La Technique Sanitaire et Municipale*, Paris, sept-oct 1907, p. 260-272.

ROTH, Alfred. La nouvelle architecture, *Die Neue Architektur - The New Architecture*, Girsberger, Zurich, 1951, 5e édition, 228 p.

ROTH, Alfred. *La Nouvelle École*, Gisberger, Zurich, 1950, p 131 – 138.

SALOMON-CAVIN, Joëlle. *La ville mal-aimée. Représentations anti-urbaines et aménagement du territoire en Suisse : analyse, comparaisons, évolution*. Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes, 2005, 236p.

Statistiques et indicateurs des régions françaises des années 1974, 1975, 1976, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1989, <http://gallica.bnf.fr>.

SULZER, Peter. *Jean Prouvé : œuvre complète, 1954-1984*. vol 4, Birkhauser, 2008, 334 p.

Tableau de bord de l'énergie en Île de France : évolution 1990/2002, des consommations et productions d'énergie et des émissions de CO² associées, http://www.areneidf.org/fr/Tableau_de_bord_de_l_energie_en_Ile_de_France-262.html.

Tableaux économiques de l'Ile-de-France. 1982. Institut national de la statistique et des études économiques. Direction régionale (France).

THOMINE, Alice. *Emile Vaudremer 1829-1914, la rigueur de l'architecture publique*. Paris : Picard, 2004, p.325.

Traité des édifices publics, des ventes domaniales et des partages de biens communaux et sectionnaires avant et depuis la loi du 1^{er} juin 1864 qui règle l'aliénation des biens du domaine de l'état, Du classement des édifices, décret de 23 avril 1810, P 85.

VERON, Marcel. *Cent ans de thermique en France*. Rapport général pour la section "Thermique"

présenté au Congrès du centenaire de la Société des ingénieurs civils de France, le 2 juin 1949, Hôtel de la Société, 1950, 35 p.

VIOLEAU, Jean-Louis. *Les architectes et mai 68*. Paris : Recherches, 2005, 471 p.

WAIDE P., LEBOT B., HINNELLS M., appliance energy standards in Europe, In: *Energy and Building*, 1997, vol. 26, pp. 45-67.

WRIGHT, David. *Soleil, nature architecture*. Marseille : Parenthèses, 1979, 248 p.

Références

(Allemagne, Belgique, Danemark, Espagne, France, Italie, Pays-Bas, Portugal, Royaume-Uni), Centre de Recherche sur l'Habitat (LOUEST, UMR n° 7544 du CNRS), École d'Architecture de Paris-Val de Seine, Octobre 2002, p155.

« Centre (le) Georges-Pompidou? Analyse d'un bâtiment », *TDC 619-620 Regards sur trente ans d'architecture*, 27 mai 1992, p. 16-18.

« Centre (le) national d'art et de culture Georges Pompidou ». In : *Construction*, TXXX, n° 9, septembre, 1975, 27 p.

« Concours (Le) 5000 maisons solaires », *Cahiers techniques du bâtiment*, n°30 septembre, octobre, 1980, p. 55-59.

« Guides (Des) pour mieux maîtriser l'énergie ». In : *Les Cahiers Technique du Bâtiment*, n° 128 juillet – août 1991, p 39 - 40.

« Nouvelle (la) réglementation thermique 1982 ». In : *Le Moniteur des Travaux publics et du Bâtiment*, n° 23, 7 juin, 1982, pp. 79-80.

« Nouvelle (la) réglementation thermique », In : *CSTB magazine*, n° 3, fév. 1982, pp.2-13.

« Sabbat (le) encyclopédique du voir », *Esprit*, février, 1987.

« villette (la) : cité des sciences et de l'industrie ». *Technique et Architecture*, février-mars, 1986, n° 364.

«isolation (l') thermique des façades ». *Cahier techniques du bâtiment*, juin-juillet 1980, n° 29, P 45.

Alexandre Teixeira – Maison de Radio France Olivier Grière – G2H Conseils.

Althusser, Louis, « Idéologie et appareil idéologique d'Etat », *La pensée*, 151, juin 1970, p. 67-125.

ANDOURA,Sami. HANCHER, Leigh et VAN DER WOUDE, Marc. Sur une proposition de Jacques DELORS, Vers une Communauté européenne de L'énergie : un projet politique, la Commission européenne, Notre Europe, juillet 2010 http://www.notre-europe.eu/media/Etud_Energie_fr.pdf.

ARTUS, Patrick et al, Les effets d'un prix du pétrole élevé et volatil, Rapport, Direction de

l'information légale et administrative. Paris, 2010 - ISBN : 978-2-11-008213-8, 255 p.

AULAGINER S., COUTURIER B., GREFFIER T., PERRIN J.F., Bâtiment et effet de serre, le chantier de l'isolation dans les bâtiments existants, Rapport de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, 2005, 120. http://www.enpc.fr/fr/formations/ecole_virt/trav-eleves/cc/cc0405/batiment.doc.

AURIAULT, Jean-Pierre. De l'architecture bioclimatique : outils, modèles et représentations. In : *Technique et Architecture*, juin-juillet 1979, n° 325,

AURIAULT, Jean-Pierre. 5 000 maisons solaires. *CPM*, n° 3, mars, 1981, p 37.

AYOUB, Raymond. Contrôle thermique des locaux dans les tropiques et les régions tempérées et ensoleillées. *Techniques et Architecture*. Février, 1960.

BANHAM, Reyner. *The Architecture of the Wel-Tempered Environment*. Londres : The Architectural Press, 2^e édition, 1984, [1^{er} éd 1969], 319 p.

BARGUS, Cécile. « Une histoire à l'envers des machines célibataires. De Tinguely à Duchamp et vice-versa », *Le son des rouages Représentations musicales des rapports homme-machine au 20^e siècle*, Colloque EHESS / CRAL, 18-19 mai 2007.

BARJOT Dominique, *Penser et construire l'Europe (1919-1992)*, Paris : CNED : Éd. Sedes, 2007, 366 p.

BAURIENNE, Auguste. Utilisation de la chaleur, chauffage par aérothermes. In : *Architecture d'Aujourd'hui*, n°5, Paris, 1935, p. 41.

BIAU Véronique, *La dévolution des marchés publics de maîtrise d'œuvre en Europe*.

BOARDMAN, Brenda. *DECADE: Domestic Equipment and Carbon Dioxide Emissions*. Second Year Report, Energy and Environment Programme, Environmental Change Unit, Oxford: University of Oxford, 1995, 175 p. BOARDMAN Brenda. "New directions for household energy efficiency: evidence from the UK". In: *Energy Policy*., vol. 32, 2004, pp. 1921-1933.

BOBIN, Jean-Louis. *L'énergie de demain : technique, environnement, économie*. Les Essonne : Les Ulis (Essonne) : EDP sciences, 2005, 633 p.

BORDMAN, Brenda., et FAWCETT, Tina. *Competition for the poor: Electricity competition and the fuel poor in Northern Ireland*. Report to OFREG, Environmental Change Institute, University of Oxford, 2002.

BOYAUX Pierre, Vers une normalisation des capteurs solaires, In : *Le Moniteur des travaux publics et du bâtiment*, n°12, Paris : Groupe Moniteur, 28 mars 1977, p 103 - 104.

Cahiers techniques du bâtiment, n°47, septembre 1982, pp. 35-37.

Cahiers techniques du moniteur, n° 18, septembre, 1978, pp. 79 – 91.

CARR (B.), GREZES (D.), WINCH (G.). *Stratégies et organisations des agences d'architecture à l'exportation : une comparaison franco-anglaise*. Paris, PUCA, 1998. 31 p.

CAZAUX, Maurice. « Institut du monde arabe : les travaux commenceront cette année ». In : *Le Parisien*, 31 mars 1982.

CHAPPOZ, Loïc. *Les politiques d'efficacité énergétique en France et en Allemagne : quand deux voisins empruntent des chemins différents*, Study n°04/13, Iddri, Paris, France, 2012, 36 p.

Chauffage et ventilation. In : *Architecture d'Aujourd'hui*, Paris, n°5, mai, 1935.

CHICHÉ, Patrick. HERZEN, Michel. KELLER, Lucien. NILSSON, Mats-Ola. Architecture & conception Énergétique, Abriter la vie, 13 p.
http://dawww.epfl.ch/OR/ACE_livre/ACE_quelques_pages.pdf

Chiffres clés de l'énergie Édition 2012, In : la Commissariat général au développement durable, www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr

CHOAY, Françoise. *L'allégorie du patrimoine*. Paris : Seuil, 1999, 277 p.

CLARK, John.G. *The Political Economy of World Energy : a Twentieth-Century Perspective*, University of North Carolina Press Eduring Edition, January, 1991, 424 p.

CLAYSSSEN, Dominique. *Jean Prouvé : l'idée constructive*. Paris: Dunod, 1983, 189 p.

Conseil d'État, 19 février 2007, N° 274758.

Conseil d'État, 20 juin 2007, N° 256974.

COURDURIER Élisabeth, TAPIE Guy, *Contrat d'Études Prospectives sur l'évolution des professions de la maîtrise d'œuvre*, Rapport pour le Ministère de l'Emploi, Paris, GRAIN, novembre 2001.

CRESWELL, Robert. *Prométhée ou Pandore ? Propos de technologie culturelle*. Paris : Kimé, 1996, 393 p.

CURLI, Barbara. Le débat sur une politique européenne de l'énergie : 1958-1964, SÉANCE 6 QUESTIONS ENERGÉTIQUES, 30 octobre 2002, 28 p.

DAUGE Yves, *Rapport d'information fait au nom de la commission des Affaires culturelles sur les métiers de l'architecture*, Annexe au procès-verbal de la séance du 16 novembre 2004, N° 64, SÉNAT, p31.

DAUMAS, Maurice. « L'histoire des techniques : son objet, ses limites, ses méthodes ». In: *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*. 1969, Tome 22 n°1. pp. 5-32.

DUJIN, Anne. POQUET, Guy. MARESCA, Bruno. La maîtrise des consommations dans les domaines de l'eau et de l'énergie. *Cahier de Recherche*, N° 237, Novembre 2007, 95 p.

DUJIN, Anne. POQUET, Guy. MARESCA, Bruno. La maîtrise des consommations dans les

somaines de l'eau et de l'énergie. In : Cahier de recherche, n° 237, Novembre, 2007, p 14.
<http://www.credoc.fr/pdf/Rech/C237.pdf>

En direct avec les collectivités territoriales, In : *les Cahiers Techniques du Bâtiment*, n° 116, avril 1990, p. 103.

Entretien avec Jean NOUVEL, In : *AMC*, n° 18, décembre, 1987, p 52 - 66.

European Energy and Transport trends to 2030 – update 2005, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2006, 148 p.

European Passive Solar Handbook : Basic Principles and Concepts for Passive Solar Architecture. Commission of the European Communities, Preliminary edition, 1986.

Évolution (L') de la part du fuel dans le chauffage des logements, In : *Le Moniteur des travaux publics et du bâtiment*, n° 15, 18 avril 1977, p. 77 – 79.

FARES, Kinda. *L'industrialisation du logement en France (1885-1970) : De la construction légère et démontable à la construction lourde et architecturale*. Thèses. Conservatoire national des arts et métiers - CNAM, (Dir) André Guillerme, 16/03/2012.

FERNANDEZ-GALIANO, Luis. *Fire and Memory on Architecture and Energy*. Cambridge: The Mit Press, 2000, XIII-326 p.

GALLO, Emmanuelle. *Modernité technique et valeur d'usage : le chauffage des bâtiments d'habitation en France*. Thèse Sous la direction de Gérard MONNIER, Université Paris I Panthéon Sorbonne, UFR Histoire de l'art et archéologie Formation doctorale en Histoire de l'art, 2006, 2 vol., 857 p.

GÉRARD, Patrick. *Pratique du droit de l'urbanisme : urbanisme, réglementaire, individuel et opérationnel*. 5^e éd, Groupe Eyrolles, 2007, 295 p.

GONZALO, Roberto., et HABERMANN, Karl J. *Architecture et efficacité énergétique : Principes de conception et de construction*. Basel ; Boston ; Berlin : Birkhäuser, cop. 2008, traduit de l'allemand par Yves Minssart, 221 p.

GORMAND, Claude. *Le Coût Global*, AFNOR Gestion, 1986.

GOULET, Patrice. *Jean Nouvel*. Paris : Electa Moniteur, 1987, 174.

Groupe Moniteur. *Écoles économes en énergie : 38 projets*. Vol II, Paris, Le Moniteur (Revue), 1984, 239 p.

Guide de l'architecture contemporaine, Paris, Barbara-Ann Campbell, Ed. ellipsis Köneman, p 82-87.

Guide des contrats de maintenance – CERTU / DGUHC – 1999.

GUIGNARD, Stéphanie. *Histoire de la recherche sur l'enveloppe du bâtiment : De l'habitat*

bioclimatique au bâtiment à énergie positive, Rôle de l'ADEME. Paris : ADEME, février 2010, 60 p.

GUILLERME, A., VACHER, H., FARES, k ; *L'industrialisation du bâtiment en France (1885-1960), (à paraître), 2014.*

HARZELLAH, Amina. *Emergence et évolution des préconisations solaires dans les théories architecturales et urbaines en France, de la seconde moitié du XIX^e siècle à la deuxième guerre mondiale*. Thèse Sous la direction de Gérard HÉGRON, Nantes, Université de Nantes, 2007, 391 p.

HESCHONG Lisa, *Architecture et volupté thermique*, Marseille : Éditions Parenthèses (traduction Hubert Guillaud), 1981, 92 p.

HOYET, Nadia. « La construction change de peau ». In : *Techniques et Architecture*, octobre-novembre 1985, n° 362, p 116-118.

<http://www.melchior.fr/Trente-ans-de-chauffage-electr.4476.0.html> consulté le 15/04/2013.

IRET, Daniel. Et al. Généalogie du brise-soleil dans : l'œuvre de Le Corbusier : Carthage, Marseille, Chandigarh. Collectif, *Filiation(s), Cahiers Thématiques*, 2004, n°4, EAL/Jean-Michel Place, p 5.

JEAN-CHRISTOPHE VISIER M., JEAN-ROBERT MILLET M., *La réglementation thermique française : un moteur pour la maîtrise de l'énergie et le développement de l'innovation*, JOURNÉES DE L'ÉQUIPEMENT, VARSOVIE - LES 16 ET 17 MARS 2000, TABLE RONDE SUR LA CONSTRUCTION 16 MARS 2000, PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES DES BÂTIMENTS, pp 24-29.

JENGER Jean, *Orsay de la gare au musée*, Paris : Réunion des musées nationaux : Musée d'Orsay, 2006.

JOFFROY, Pascale. REINTEAU, Bernard. Beaubourg le second souffle. En avant-première, visite du Centre Pompidou après transformation, In : *Le Moniteur*, 3 décembre 1999, pp. 114-117.

JOUINEAU, Claude. *L'analyse de la valeur*. Paris: Edition Moderne d'Entreprise, 1986.

JOURDA, Françoise. PERRAUDIN, Gilles. L'architecture climatique, élément d'une nouvelle culture. *Techniques et architecture*, n°354, juin juillet 1984, p 50 - 53.

KAPSTEIN, Ethan. B. *The Insecure Alliance. Energy Crises and Western Politics since 1944*, Oxford University Press 1990, 257 p.

KORSAK de, Bernard et al. L'évaluation de la politique du logement dans les villes nouvelles. Rapport n° 2003-0333-01, Conseil Ministériel de l'Évaluation, Conseil Général des Ponts et Chaussées, 2004, 122 p.

La bi-énergie pour le neuf aussi, In : *Cahiers techniques du bâtiment-spécial*, n°85, bis novembre 1986, p. 51.

La circulaire du 26 octobre 1979 du premier Ministre, concernant le renforcement des mesures d'économie d'énergie dans les bâtiments occupés par l'administration. « Textes officiels », *Le*

Moniteur, 29 oct. 1979, p. II-III.

La conception et la réglementation à propos du programme H2E 85, Gilles Olive, Techniques et architecture, juin – juillet 1984 N° 354, pp. 91-92.

La genèse des traités de Rome (1955-1958), <http://www.cvce.eu/recherche/unit-content/-/unit/3cb9e142-6ac4-4184-8794-fc3cf619cf33>.

La maîtrise d'œuvre complète en Espagne, en Suisse et en Grande-Bretagne. *Plan Construction et Architecture et l'Association AVEC*. Mars 1989, pp 30-37.

LAVERGNE, Richard. « La politique énergétique française depuis trente ans ». Constructif, N° 9 , Novembre 2009. http://www.constructif.fr/bibliotheque/2004-11/la-politique-energetique-francaise-depuis-trente-ans.html?item_id=2580.

Le chauffage à eau chaude est-il condamné ? , In : *Cahiers techniques du Bâtiment*, n° 45, mai, 1982, pp. 71-82.

Le chauffage central individuel au gaz en habitat existant, In : *Le Moniteur des travaux publics et du bâtiment*, 15 mai 1976, pp 119-120.

Le chauffage central individuel au gaz en habitat existant, In : *Le Moniteur*, 15 mai 1976, pp. 119-120.

Le Corbusier, in : *Architecture d'Aujourd'hui*, numéro spécial, 1948,
Le Corbusier, *Urbanisme*, Paris, Crès, 1925, 219 p.

Le Corbusier. *Précisions sur un état présent de l'architecture et de l'urbanisme*. Crès, Collection de "L'Esprit Nouveau", Paris, 1930, 268 p.

Le gaz naturel : une progression dans tous les secteurs d'activité, In : *les Cahiers Techniques du Bâtiment*, n° 102 octobre 1988, p. 65.

LE GRAND Louis, 30 ans de chauffage électrique : histoire d'une innovation mouvementée, In : *Les entreprises, acteurs de la recherche et de l'innovation*, 29 et 30 août 2005.

Le guide ABC : Amélioration thermique des bâtiments collectifs construits de 1850 à 1974. Paris : Parisiennes, 2011, 344 p.

LEGLISE, Gérard. « le verre matériau de construction ». *Cahier Technique du Moniteur*, novembre, n° 7, 1976, P 23-27.

Les Cahiers Techniques du Bâtiment, n° 114 Février 1990, pp 65-74.

LIEBARD, Alain. Une vision d'énergies renouvelables. Comite 21 - Entretien avec Alain Liebard, président de la Fondation « Énergies pour le Monde », 9 octobre 2002. http://www.comite21.org/docs/rencontres_debats/rd2002/liebard.pdf Consulté le 12 Decembre 2012.

Livre blanc sur la politique énergétique, publié en 1996,

http://biohab.free.fr/BIOHAB/Niveau%20IV/Cible_energie/cible_energie_nl.pdf

Maitrise de l'énergie dans la ville, conception actuelle des réseaux de distribution de gaz en Île-de-France, lieu, conférence du 28 mai 1986.

Maurice Daumas, *Histoire générale des techniques*, 5 tomes, Presses universitaires de France, Paris, 1979.

MENARD, Jean-Pierre. Institut du monde arabe : un bâtiment à haute technicité. In : *Les Cahiers techniques du Bâtiment*, n° 87, février, 1987, pp. 49-55.

MENARD, Jean-Pierre. Concours (le) "5000 maisons solaires" 2 ans après, 457 maisons construites, 1031 en cours. *Cahiers techniques du bâtiment*, no 55, juin-juill. 1983.- pp.71-80.

MENARD, Jean-Pierre. « Façades légères ». *Le moniteur architecture - AMC*, mai 1993, n° 41, pp 56 – 62.

MERLIN P. et CHOAY F. (sous la dir.), *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*, PUF, 1988.

MODERNE Franck, *la fonction de maîtrise d'œuvre dans la construction publique*, Paris : Palloz, 1997, 240 p.

MONNIER, Gérard. *L'architecture moderne en France : tome 3, de la croissance à la compétition 1967-1999*. Paris : Picard, 2000, 311 p

Musée d'Orsay : du staff de grande envergure, In : *Cahier techniques du bâtiment*, 1985, octobre, n° 75, 1985,

NADAUD, Catherine. « la façade qui bouge ». *L'institut du monde arabe, les nouvelles*, 19 au 25 octobre 1983.

NAIZOT F., *Les changements d'occupation des sols de 1990 à 2000 : plus d'artificiel, moins de prairies et de bocages*, Ifen, 2005, 4 p. <http://www.ifen.fr/publications/DE/PDF/de101.pdf>

NOGUE Nicolas, *Architectes. Bilan 2000 de la profession*. Ordre des architectes, Observatoire de l'économie de l'architecture, Paris, 2000.

Nouvelle (la) réglementation thermique 1982, In : *Le Moniteur des Travaux publics et du Bâtiment*, n° 23, 7 juin, 1982, P.79-80.

Nouvelle (la) réglementation thermique, In : *CSTB magazine*, n° 3, fév, 1982, pp.2-13.

OLIVE Gilles, *Technique et architecture*, juin juillet 1984, N° 354, pp.91-92.

Optimisation de la performance énergétique des bâtiments publics par la mise en œuvre des Contrats de Partenariat, Gimélec - Tous droits réservés - Edition mars 2007.

PÉLISSIER, Alain. « Transmoderne ». In : *Technique et Architecture*, n° 376, mars 1988, pp. 126-

127.

PELISSIER, Alain. L'Institut du Monde Arabe à Paris. In, *Techniques et Architecture*, n° 350, novembre 1983, p 140 - 148.

PÉNEAU, Jean-Pierre. *Quelles éléments sur l'aérisme et l'ajustement climatique de la ville au siècle des Lumières*. Thèse de doctorat sous la direction de Jean DHOMBRES, Université de Nantes, 1998, 478 p.

PIANO, Renzo. ROGERS, Richard. « Le Centre Georges Pompidou ». In : *L'Architecture d'aujourd'hui*, n° 189, février, 1977, p. 41 - 76.

PLANCHE, Emmanuel. ABRAHAM, Bernard. L'isolation thermique par l'extérieur. CSTB, observatoire technico-économique du bâtiment, 1985, 30 p.

Pompe à chaleur un nouveau souffle ? , In : *Cahiers techniques du bâtiment*, n° 71, avril 1985, pp. 7 - 8.

Prendre en Compte l'exploitation et la Maintenance dans la conduite de projet immobilier, Outil n°2, centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques.

Principes de fonctionnement et usages de la géothermie (1/3) source : ADEME / BRGM, Fiche d'information http://www.enr.fr/docs/2010104945_SERGothermie20100607LD.pdf.

Principes de fonctionnement et usages de la géothermie (2/3) source : ADEME / BRGM.

Quelle architecture solaire. *l'Architecture d'aujourd'hui*. N° 192, Septembre 1977, p 1-66.

Quelles solutions pour le tertiaire ? , In : *Les Cahiers Techniques du Bâtiment*, n° 114 Février 1990, P 65.

RAOUX, François. « Beaubourg devra faire relâche ». In : *Le Quotidien de Paris*, 29 janvier 1994.

RAPOPORT, Amos. *House Form and Culture*. Englewood Cliffs : Prentice-Hall, Inc, 1969, 146 p.

Rapports Hugon et Quilés débat parlementaire sur l'énergie en octobre 1981.

RAYNAUD, Dominique. « La « crise invisible » des architectes dans les Trente Glorieuses, Manuscrit auteur », In : *Histoire urbaine*, n°25, 2009, P 129 - 147.

Rendre possible : du Plan Construction au Puca : 40 ans de réalisations expérimentales. Ouvrage collectif, PUCA, Juin 2012, 224 p.

Repères, Chiffres clés de l'énergie, service de l'observation et des statistiques, Commissariat Général au Développement Durable, Octobre 2010, 40 p. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Rep-10-10.pdf>

Révolution énergétique en Californie. Architecture climatique. *Techniques et Architecture*. 1984, n° 354, 160 p.

ROSENSTEIN F., Les enjeux de l'efficacité énergétique en France, ADEME, 2005, présentation.
<http://www.energy-base.org/fileadmin/media/base/downloads/Energieliefer-Contracting/>

SCHITTICH, Christian. STAIB, Gerald. BALKOM, Dieter. et al. *Construire en verre*. Lusane : Presses polytechniques et universitaires romandes, 2012, 328 p.

SCHUBERT, Dirk. Romantisme agraire et hostilité à la ville de l'urbanisme de l'entre-deux-guerres. In : *Les cahiers de la recherche architecturale*, n°9, janvier 1982, pp. 72-81.

SELLIER, Dominique. et al. *Ventilation naturelle et mécanique*. Les guides BIO-TECH, février 2012, 60 p,

Service de l'Observation et des Statistiques, bilan de l'énergie 2011.

SIMONOT, Béatrice. *La Maison du Peuple, Beaudouin – Lods – Prouvé – Bodianski, un bijou mécanique*. Bold, Monografik éditions, novembre, 2010, 104 p.

SIRET, Daniel. et HAREALLAH, Amina. « Architecture et contrôle de l'ensoleillement ». In : *IBPSA France*, 2006.

SIRET, Daniel. L'illusion du brise-soleil par Le Corbusier. *Colloque langages scientifiques et pensée critique : modélisation, environnement, décision publique*, Cerisy : France, 2002, 8 p.

STRATÉGIE UTILISATION RATIONNELLE DE L'ÉNERGIE CHAPITRE II : LES BÂTIMENTS, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, version Juin 2005.

SUBREMON Hélène, *Habiter avec l'énergie, pour une anthropologie sensible de la consommation d'énergie*, Thèse sous la direction de Philippe BONNIN, Université Paris X – Nanterre, 2009,

TRAINSEL, Jean Pierre. *Le métal et le verre dans l'architecture en France du mur à la façade légère*. Thèse Sous la direction d'André GUILLERME, université Paris 8 – Saint Denis, 3 avril 1997, 471 p.

VAISSE P., Musée d'Osay Paris, ACT Architecture, GAE Aulenti, In : *Architecture d'aujourd'hui*, 1986, décembre, pp. 1-25.

Loi, Décret, Arrêté

Arrêté du 10 avril 1974 relatif à l'isolation thermique et au réglage automatique des installations de chauffage dans les bâtiments d'habitation. Consulter 22 juin 2013.

Arrêté du 10 novembre 1982 caractéristiques techniques et prix des logements neufs en accession à la propriété finances au moyen des prêts aidés par l'État, JO du 19 novembre 1982.

Arrêté du 17 avril 1990 contient des nouvelles réductions d'impôt pour travaux économies d'énergie,

JO n° 97 du 25 avril 1990.

Arrêté du 22 octobre 1969 relatif aux conduits de fumée desservant des logements (JO du 30 octobre 1969).

Arrêté du 22 octobre 1969 relatif aux conduits de fumée desservant des logements.

Arrêté du 24 mai 2006 relatif aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments, *JO* du 25 mai 2006.

Arrêté du 24 mars 1982 modifié relatif à l'aération des logements (JO du 27 mars 1982).

Arrêté du 28 octobre 1983, modifiant l'Arrêté du 24 mars 1982, relatif à l'aération des logements (JO du 15 novembre 1983).

Arrêté du 3 mai 2007 relatif au contenu et aux conditions d'attribution du label " haute performance énergétique ".

Arrêté interministériel du 19 juillet 1979 sur les modalités de contrôle financier de l'établissement public.

Arrêté du du 25 Juillet 1977 Relatif à l'isolation thermiques des bâtiments à usage agricole. Consulter 22 juin 2013.

Décret du 22 février 1947 concernant l'aménagement de la chute de Donzere-Mondragon sur le Rhône (Ardèche, Drome, Gard, Vaucluse).

Décret n° 2000-1153 du 29 novembre 2000 relatif aux caractéristiques thermiques des constructions modifiant le code de la construction et de l'habitation et pris pour l'application de la loi n° 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie, J.O. Numéro 277 du 30 novembre 2000.

Décret n° 74-1025 du 3 décembre 1974.

Décret n°2006-592 du 24 mai 2006 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des constructions, *JO* du 25 mai 2006.

Décret n°78-357 du 20 mars 1978 portant création de l'établissement public.

Décret n°79-312 du 18 avril 1979 modifiant le décret n°78-357.

Décret n°81-106 du 3 février 1981 modifiant le décret n°78-357.

Directive européenne relative à l'efficacité énergétique du 25 octobre 2012.

Loi de finances n° 74-1129 du 30 décembre 1974 ; loi de finances pour 1975 (article 8) déductions opérées sur le revenu global.

Loi du 15 février 1902, Loi relative à la protection de la santé publique, In : Journal Officiel du 19

février 1902.

Loi du 31 décembre 1940 de l'ordre des architectes.

Loi n° 47-1497 du 13 août 1974 qui concerne l'inscription des dépenses du commissariat à l'énergie atomique (CEA) au budget de l'État.

Loi n° 74-908 du 29 octobre 1974 aux économies d'énergie, *Journal officiel de la république française*, 31 octobre 1974, 11083.

Loi n° 85-704 du 12 juillet 1985 relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée. *Journal Officiel de la république Française*, 13 juillet 1985. 7914.

Traité Euratom de 1957, le Traité de Rome (Traité CEE de 1957) ; Traité Euratom - Traité instituant la Communauté européenne de l'énergie atomique, Rome, 25 mars 1957.

Traité instituant la Communauté européenne du charbon et de l'acier, traité CECA, http://europa.eu/legislation_summaries/institutional_affairs/treaties/treaties_ecsc_fr.htm

http://ec.europa.eu/energy/green-paper-energy/index_fr.htm

<http://www.archi.fr/EUROPAN-FR>

<http://www.localtis.info/>

<http://www.senat.fr>

<http://www.cvce.eu>

<http://www.instituttreprise.fr>

<http://www.credoc.fr>

<http://www.localtis.info>

<http://www.developpement-durable.gouv.fr>

http://www.manicore.com/documentation/club_rome.html

<http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr>

<http://www.enr.fr>

<http://www.cpcu.fr>

<http://www.cyel.fr>

http://fr.espacenet.com/advancedSearch?locale=fr_FR

<http://www.cstb.fr>

<http://www.ademe.fr>

<http://www.costic.com>

<http://gallica.bnf.fr/>

http://www.citechailot.fr/fr/cite/documentation/centre_darchives/

<http://www.cdu.urbanisme.developpement-durable.gouv.fr/>

Annexe 1 : tableaux Concours « 5 000 maisons solaire réalisés en 1983 par Jean-Pierre MENARD. Cahiers Techniques du Bâtiment, n° 55 juin/Juillet 1983

Nom des projets	Architectes	Agrées ou lauréat	Nombre de maisons construites	A venir	total
Aubea extension	Claux Pesso Raoust	Lauréat (1)	94	30	124
Becare 2	Castro	Lauréat (2)	1	0	1
Bencoco	Atelier collectif d'architecture et d'urbanisme	Agréé	1	17	18
Capellio	Ersol	Agréé	2	4	6
Cité jardin solaire	Baron Longuet Courtecuisse	Agréé	2	0	2
Chantepie	Champéaux	Agréé	6	0	6
Le Coteau	Cassou	Agréé	2	94	96
Dalhia	Casanova	Agréé	4	1	5
Diogéne	Kalisz/ Doucot	Lauréat (3)	1	3	4
Equinoxe	Boulet Delacou	Agréé	1	0	1
Farsol	Delgado	Agréé	8	0	8
Helios	Phelouzat	Agréé	34	0	34
Les Héliades (maisons solaires à Vitrolles)	Scali	Agréé	1	63	64
Heliante	Girot Pasquier	Agréé	5	0	5
Jour/Nuit	J.Michel Areaud Davy	Agréé	16	109	125
Maison de ville	Belin Guitton	Agréé	0	30	30
Maison K	S.C.P.A Brossy Legier Viault	Lauréat (4)	9	0	9
Maison solaire urbaine	Archigroup	Agréé	1	0	1
Marjolaine	Cordier	Agréé	4	2	6
P.G.S.	Giardina	Agréé	20	20	40
Phenicie	Ceria Coupel	Agréé	1	0	1
Plexus	S.C.P.A Bailly Argaud Cerceau Villeneuve Balmain Fossa	Lauréat (5)	1	30	31
Les Radieuses	Vasconi Pencreach	Lauréat (6)	1	0	1
R.M.S.2	Sopra	Agréé	1	0	1
Les rueiles	Atelier de site	Lauréat (7)	3	19	22
Soleillante	Buchotte	Agréé	7	4	11
Sysol1	Texier Richard	Agréé	5	0	5
Tradisolaire	Rochette Xénakis	Agréé	0	0	0
Village solaire	Beauclair Cayla	Agréé	30	19	49

DEUXEME PHASE

Les Albédines	Paindavaine Amédeo de Lagarde Bernard	Agréé	0	2	2
Archibio	Coquel Parent Copin Gasnier Gossart	Agréé	17	0	17
Astrolabe	A 1000 architecture	Agréé	0	0	0
Aubea Evolution	Claux Pessa Raoust	Agréé	17	200	217
Austerlitz	Renouff Millet	Agréé	122	0	122
Becare 3	Castro	Agréé	0	32	32
Bencoco 2	Atelier de Pau	Agréé	(1) confirmation	1e phase	
Bio-Ouest	Ersol	Agréé	(2) confirmation		
Les Cardinales	Arch Bosquetti Quin	Lauréat (1)	0	50	50
Chantepie cité jardin solaire 2	Champéaux Baron Longuet Courtecuisse	Agréé	0	39	39
		Agréé	(3) confirmation		
Le Coteau	Cassou	Agréé	(4) confirmation		
Cromlec'h Bretagne	Tessier	Agréé	12	0	12
Dalhia	Casanova	Agréé	(5) confirmation		
2πR	Architecture Studio	Agréé	0	0	0
Diogène 2	Kalisz/ Doucot	Agréé	(6) confirmation		
L'Echo	Pli Architecture	Lauréat (2)	0	0	0
Eco Village	Zdanowski	Agréé	(8) confirmation		
Helen	Mosser	Agréé	0	0	0
Helios 2	Phelouzat	Agréé	(9) confirmation		
Les Héliades 2	Scali	Agréé	(10) confirmation		
Heliant 2	Giroton Pasquier	Agréé	(11) confirmation		
L'Héliotrope	Drouin Barrier	Agréé	0	13	13
Héliotrope	Dec Dethare	Agréé	0	0	0
Cléveil	Dec Dethare	Agréé	0	0	0
Heol	Jullien	Agréé	0	11	11
Hera	Bailly Wibaux	Agréé	0	6	6
Horus	A.D.A	Agréé	0	4	4
Iris	S'Pace	Lauréat (3)	0	31	31
Jour/Nuit 2	Michel Arnoud Davy	Agréé	(12) confirmation		
Maison de ville 2	Belin Guitton	Agréé	(13) confirmation		
Maison K2	Brossy Legier Viauit	Agréé	(14) confirmation		
Maison soleil	A.D.A.	Agréé	0	0	0
Maisons solaires urbaines 2	Archigroup	Agréé	(15) confirmation		
Maison sud	Lossi Amadeo	Agréé	0	0	0
Marjolaine 2	Cordier	Agréé	(16) confirmation		
Les Marquises	Martinat Brochon	Agréé	0	0	0
Mesnil solaire	Leverd	Agréé	1	0	1
Mousolaire	Archidom	Lauréat (4)	0	0	0
Osiris	Eble	Agréé	8	12	20
Palome solaire	Robert	Agréé	12	0	12
Patio	Cazals Massip	Agréé	3	2	5
P.G.S.2	Giardina	Agréé	(17) confirmation		
Phébus	Lajus	Lauréat (5)	0	0	0

Phénicie 2	Ceria	Agréé	(18) confirmation		
Plexus 2	S.C.P.A Bailly Argaud	Agréé	(19) confirmation		
Ré	Brukalski	Agréé	0	0	0
Relief	Plottier	Agréé	0	0	0
R.M.S.3	Sopra	Lauréat	0	0	0
		(6)			
Les Ruches	Groll	Agréé	2	85	87
Les Ruelles 2	Atelier de site	Agréé	(20) confirmation		
Solemio	Petit	Agréé	0	0	0
Soleil carré	Deslandes	Lauréat	0	0	0
		(7)			
Sol solaire	L. et S. Goldstein	Lauréat	0	0	0
		(8)			
Solstice 2	Bouchez Michaelis	Agréé	0	0	0
Squares	Le Cieux Fabre Leplat	Agréé	0	20	20
Sun'suffit	Loisier Degiacinto Hernandez	Agréé	0	2	2
Sysol 2	Texier	Agréé	0	0	0
Tequila	Groupe Arcane	Agréé	0	74	74
Vallouise	S.C.P. atelier Wagner	Agréé	1	0	1
Villages solaires 2	Beauclair Cayla	Agréé	(21) confirmation		

L'activité solaire des équipes avant le concours: référence des candidats:

n'avaient encore jamais étudié de projet solaire	46%
en étaient restés au stade des études sans construction	26%
avaient déjà réalisé un ou plusieurs projets	28%

après le concours: part représentée en 1983 par le solaire dans l'activité des architectes ayant participé au concours

Nulle	
marginale ou faible	
Importante	
Totalité	

Répartition géographique des 1488 maisons (5 000) maisons solaires

diffus en toutes régions	25%
région parisienne (villes nouvelles)	20%
Sud-ouest (bordeaux, toulouse, pau)	15%
Nord	10%
Normandie	10%
sud et côte d'Azur	10%
Ouest-Bretagne	5%
Rhône-Alpes	5%

Des résultats décevants: ce qu'en pensent les architectes

réticences des maîtres d'ouvrage: "le marché du solaire n'est pas encore mûr"	34%
la politique pro-solaire dans laquelle s'inscrivait le concours a été abandonnée	
depuis entre les deux phases 17% des avis, après le concours 16%	33%
les entreprises et les promoteurs ne sont pas motivés	25%
les maisons solaires sont trop chères	25%
les aides des pouvoirs publics sont inadaptées à la situation réelle	18.5%
manque de publicité et d'information des maîtres d'ouvrage	17%
projets très compliqués	7.7%
le solaire est victime du marasme général dans le monde de la construction	6.1%
le concours était mal défini	6.1%
concepteurs eux-mêmes peu motivés ou incapables de défendre vraiment leur projet	4.5%

Annexe 2. Plans masse des projets gagnants de concours Écoles économes en énergie 1985.

Extraits de l'étude comparative des ratios techniques et économiques sur la base des six dossiers de marchés du concours Écoles économes en énergie. André Pouget. Ministère de l'Éducation nationale 1985.

	<table border="1"> <tr><td>St Quentin en Yvelines</td></tr> <tr><td>Dufournet-Renn architectes</td></tr> <tr><td>Études solaire Candonnell therm</td></tr> <tr><td>Surface vitrée/surface utile= 0,19</td></tr> <tr><td>Inertie = 181 kg/m²</td></tr> <tr><td>4 classes maternelles = 5 classes primaires</td></tr> </table>	St Quentin en Yvelines	Dufournet-Renn architectes	Études solaire Candonnell therm	Surface vitrée/surface utile= 0,19	Inertie = 181 kg/m ²	4 classes maternelles = 5 classes primaires
St Quentin en Yvelines							
Dufournet-Renn architectes							
Études solaire Candonnell therm							
Surface vitrée/surface utile= 0,19							
Inertie = 181 kg/m ²							
4 classes maternelles = 5 classes primaires							
	<table border="1"> <tr><td>Evry</td></tr> <tr><td>Carduner architecte</td></tr> <tr><td>Parnallier thermicien</td></tr> <tr><td>Surface vitrée/surface utile= 0,17</td></tr> <tr><td>Inertie = 45 kg/m²</td></tr> <tr><td>4 classes maternelles = 10 classes primaires</td></tr> </table>	Evry	Carduner architecte	Parnallier thermicien	Surface vitrée/surface utile= 0,17	Inertie = 45 kg/m ²	4 classes maternelles = 10 classes primaires
Evry							
Carduner architecte							
Parnallier thermicien							
Surface vitrée/surface utile= 0,17							
Inertie = 45 kg/m ²							
4 classes maternelles = 10 classes primaires							
	<table border="1"> <tr><td>Les rives de l'Étang de Berre</td></tr> <tr><td>Stanislos Fiszer architecte</td></tr> <tr><td>Surface vitrée/surface utile= 0,19</td></tr> <tr><td>Inertie = 223 kg/m²</td></tr> <tr><td>6 classes maternelles = 8 classes primaires</td></tr> </table>	Les rives de l'Étang de Berre	Stanislos Fiszer architecte	Surface vitrée/surface utile= 0,19	Inertie = 223 kg/m ²	6 classes maternelles = 8 classes primaires	
Les rives de l'Étang de Berre							
Stanislos Fiszer architecte							
Surface vitrée/surface utile= 0,19							
Inertie = 223 kg/m ²							
6 classes maternelles = 8 classes primaires							
	<table border="1"> <tr><td>Isel d'Abeau</td></tr> <tr><td>6REIES-CMARON-CMOMETTE architectes</td></tr> <tr><td>Penicaud thermicien</td></tr> <tr><td>Surface vitrée/surface utile= 0,37</td></tr> <tr><td>Inertie = 149 kg/m²</td></tr> <tr><td>4 classes maternelles = 12 classes primaires</td></tr> </table>	Isel d'Abeau	6REIES-CMARON-CMOMETTE architectes	Penicaud thermicien	Surface vitrée/surface utile= 0,37	Inertie = 149 kg/m ²	4 classes maternelles = 12 classes primaires
Isel d'Abeau							
6REIES-CMARON-CMOMETTE architectes							
Penicaud thermicien							
Surface vitrée/surface utile= 0,37							
Inertie = 149 kg/m ²							
4 classes maternelles = 12 classes primaires							
	<table border="1"> <tr><td>Cergy-Pontoise</td></tr> <tr><td>Jourda-Perraudin architectes</td></tr> <tr><td>Surface vitrée/surface utile= 0,16</td></tr> <tr><td>Inertie = 208 kg/m²</td></tr> <tr><td>5 classes maternelles = 12 classes primaires</td></tr> </table>	Cergy-Pontoise	Jourda-Perraudin architectes	Surface vitrée/surface utile= 0,16	Inertie = 208 kg/m ²	5 classes maternelles = 12 classes primaires	
Cergy-Pontoise							
Jourda-Perraudin architectes							
Surface vitrée/surface utile= 0,16							
Inertie = 208 kg/m ²							
5 classes maternelles = 12 classes primaires							
	<table border="1"> <tr><td>Marne-la-Vallée</td></tr> <tr><td>ARCANE architectes</td></tr> <tr><td>Surface vitrée/surface utile= 0,26</td></tr> <tr><td>Inertie = 275 kg/m²</td></tr> <tr><td>5 classes maternelles = 7 classes primaires</td></tr> </table>	Marne-la-Vallée	ARCANE architectes	Surface vitrée/surface utile= 0,26	Inertie = 275 kg/m ²	5 classes maternelles = 7 classes primaires	
Marne-la-Vallée							
ARCANE architectes							
Surface vitrée/surface utile= 0,26							
Inertie = 275 kg/m ²							
5 classes maternelles = 7 classes primaires							

Annexe 3. Brevets déposés en France pour les techniques d'énergie solaire entre 1970 et 2010. Source : Service de recherche d'INPI : <http://www.inpi.fr>

Date de priorité	Capteur	Chauffage solaire	chauffe-eau solaire	Panneau solaire	énergie solaire
1970	0	0	0	0	0
1971	0	0	0	0	0
1972	0	0	0	0	0
1973	0	0	0	0	0
1974	0	1	0	0	1
1975	0	1	0	0	2
1976	0	3	6	6	48
1977	5	5	7	7	127
1978	5	9	10	10	139
1979	0	8	16	16	122
1980	4	8	11	11	62
1981	3	5	8	8	41
1982	0	2	5	5	46
1983	0	4	4	4	36
1984	1	6	4	4	20
1985	1	2	3	3	24
1986	0	4	1	1	13
1987	0	2	2	2	9
1988	1	0	8	8	15
1989	0	0	5	5	13
1990	0	1	0	0	17
1991	0	1	7	7	18
1992	0	2	2	2	15
1993	1	1	5	5	19
1994	0	0	4	4	18
1995	0	0	6	6	30
1996	0	0	6	6	23
1997	0	1	6	6	27
1998	0	1	11	11	30
1999	0	0	17	17	30
2000	0	1	6	6	42
2001	0	2	21	21	38
2002	0	4	13	13	30
2003	1	6	21	21	43
2004	0	6	12	12	71
2005	0	5	22	22	54
2006	2	4	46	46	99
2007	0	3	62	62	65
2008	2	7	88	88	97
2009	1	6	95	95	102
2010	0	13	126	126	139

Annexe 4. Dépôt des brevets d'isolation thermique en France dès 1970. Source :

INPI

Année	Isolation thermique
1970	0
1971	0
1972	0
1973	1
1974	0
1975	0
1976	11
1977	29
1978	25
1979	39
1980	40
1981	42
1982	41
1983	32
1984	54
1985	38
1986	35
1987	32
1988	30
1989	48
1990	29
1991	24
1992	40
1993	42
1994	43
1995	50
1996	53
1997	60
1998	63
1999	56
2000	80
2001	66
2002	89
2003	110
2004	95
2005	83
2006	106
2007	113
2008	117
2009	140
2010	141
2011	150

Annexe 5. Exemples de brevet d'isolation thermique : nous nous présentons que les illustrations : le texte comprend environ 25 pages par brevet soit 150 pages...

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

① N° de publication :
le numéro que pour les
commandes de reproduction.

2 524 047

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

①

N° 82 06211

⑤④ Elément modulaire de revêtement de parois et notamment d'isolation par l'extérieur.

⑤① Classification internationale Int. Cl. P. E 04 F 13/14; E 04 B 1/90; E 04 F 13/18.

②② Date de dépôt 26 mars 1982.

⑤③ ⑤② ⑤① Priorités revendiquées :

⑤① Date de la mise à la disposition du
public de la demande S.O.P.I. — « Listes » n° 39 du 30-8-1983.

⑦① Dépositaire : NICKELS Jean-Charles. — FR.

⑦② Invention de : Jean-Charles Nickels.

⑦③ Titulaire : idem ⑦①

⑦④ Mandataire : Bugnon propriété industrielle SARL,
23-25, rue Nicolas-Lablanc, 59000 Lille.

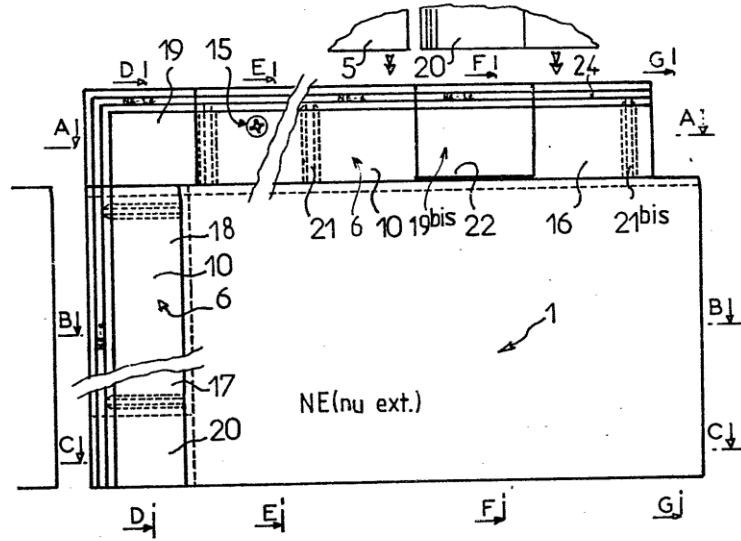
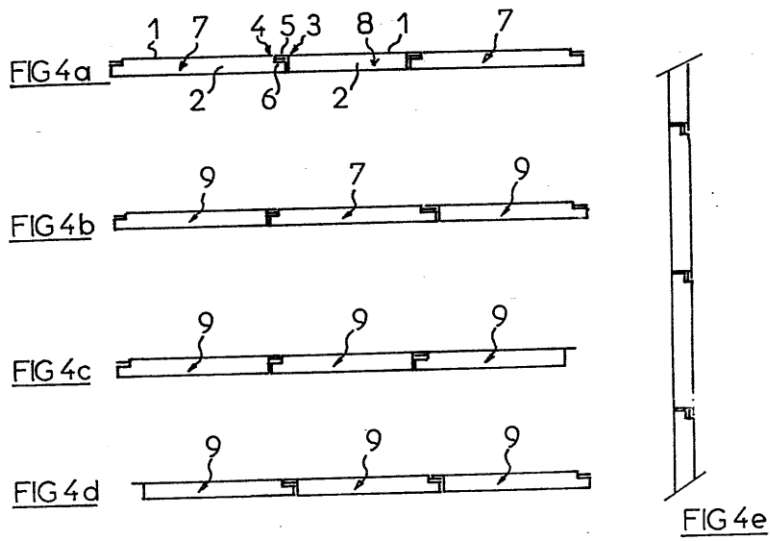
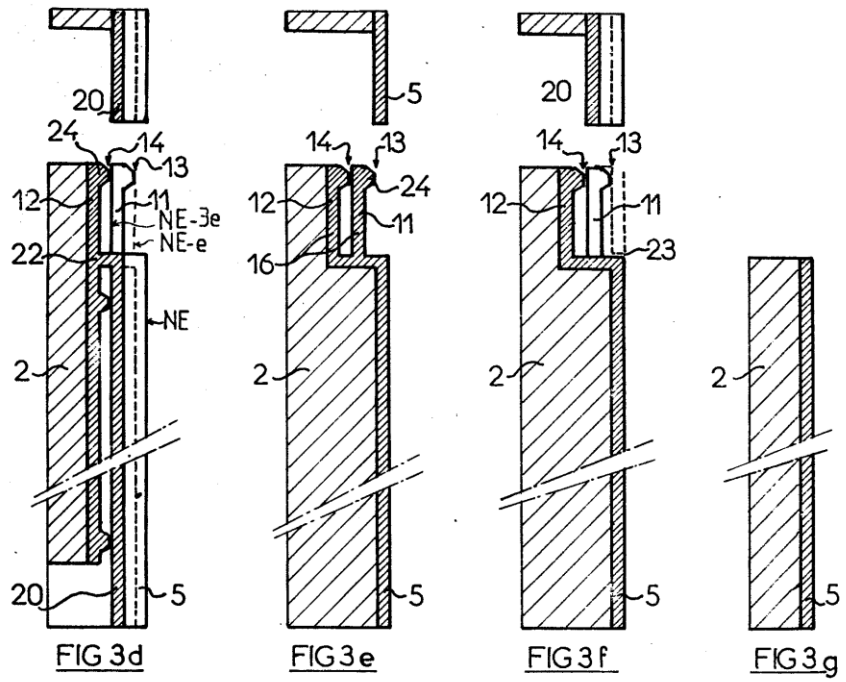
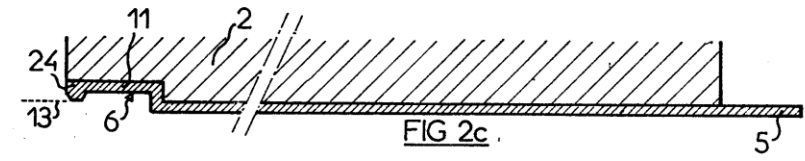
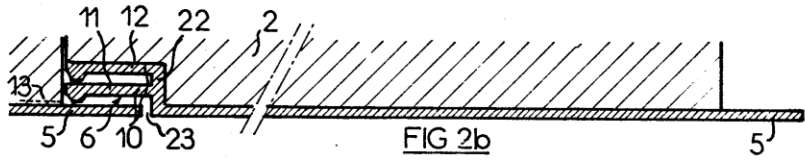
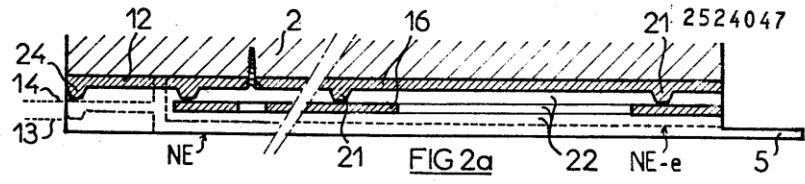


FIG 1





2524047

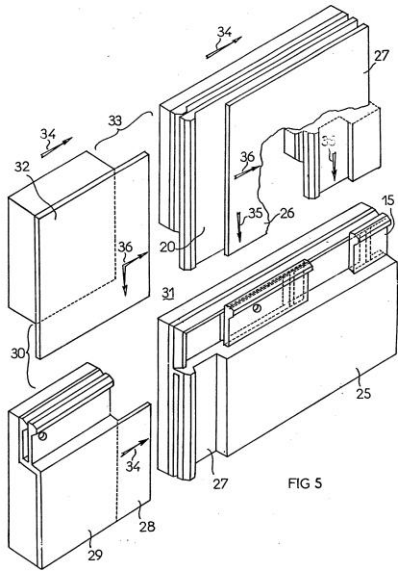


FIG 5

2524047

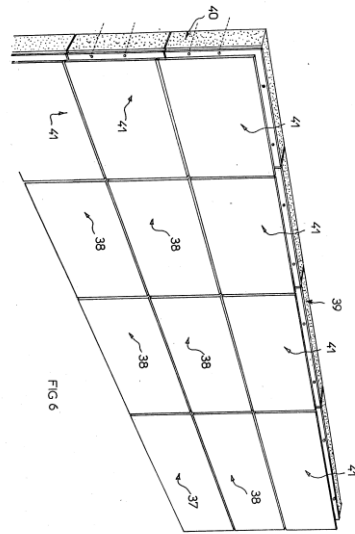


FIG 6

2524047

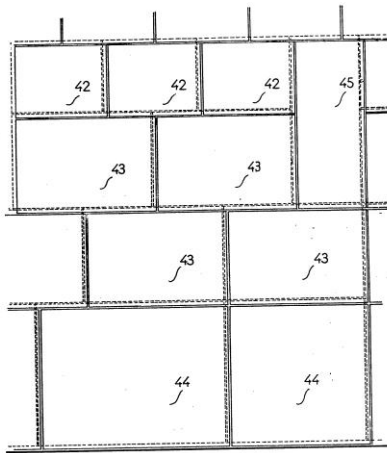
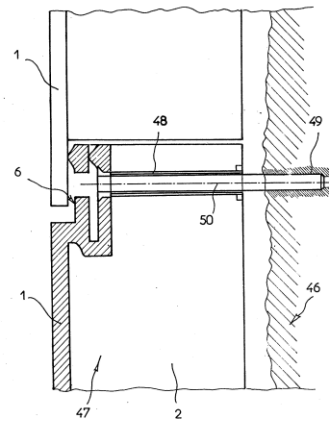


FIG 7

2524047

FIG 8



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

⑪ N° de publication :
à utiliser que pour les
communiqués de reproduction.

2 527 249

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

⑫

N° 82 08890

⑮ Elément d'isolation thermique d'une paroi par l'extérieur.

⑯ Classification internationale (int. Cl. 9) : E 04 F 13/14; E 04 B 1/74; E 04 F 13/18, 19/08.

⑰ Date de dépôt : 21 mai 1982.

⑱ ⑳ ㉑ Priorité revendiquée :

㉒ Date de la mise à la disposition du public de la demande : B.O.P.I. — « Listes » n° 47 du 26-11-1983.

㉓ Dépositaire : Société dite : CIDE - COMPAGNIE D'IMPORTATION DE DIFFUSION ET D'EXPORTATION SA et Société dite : EXPERTISES ET TECHNIQUES (par abréviation EXPERTEC) — FR.

㉔ Invention de : Jean Jacques Damiguet et Yves Depierre.

㉕ Titulaire :

㉖ Mandataire : Cabinet Lavoix, 2, place d'Estienne d'Orves, 75441 Paris Cedex 09.

2/2

2527249

1/2

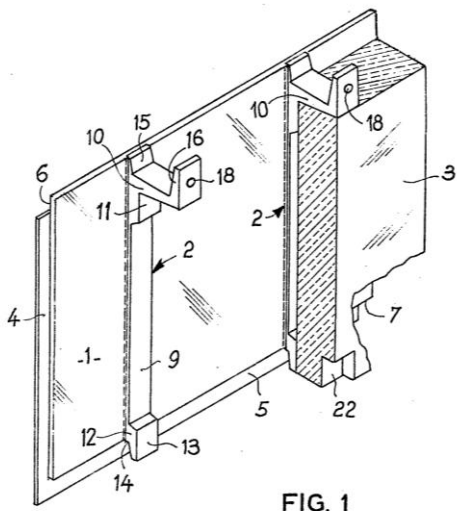


FIG. 1

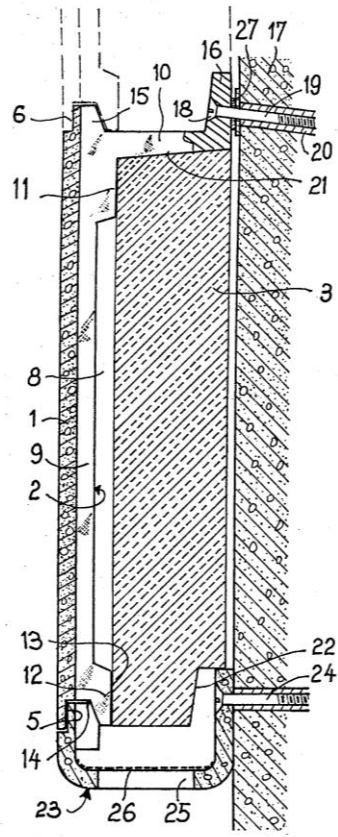


FIG. 2

(18) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(19) N° de publication : **2 542 350**
à valoir sur les
examens de brevet

(20) N° d'enregistrement national : **83 03704**

(61) Int. Cl. : E 04 B 3/90.

(12) **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

(22) Date de dépôt : 7 mars 1983.

(30) Priorité :

(43) Date de la mise à disposition du public de la
demande : B.O.P.I. brevets n° 37 du 14 septembre 1984.

(60) Référence à d'autres documents nationaux appor-
tés :

(71) Demandeur(s) : Société dite : SIMAC AIGREOU. — FR.

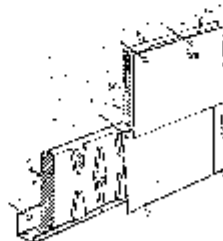
(72) Inventeur(s) : Patrick Renaud et Francis Crozet.

(73) Titulaire(s) :

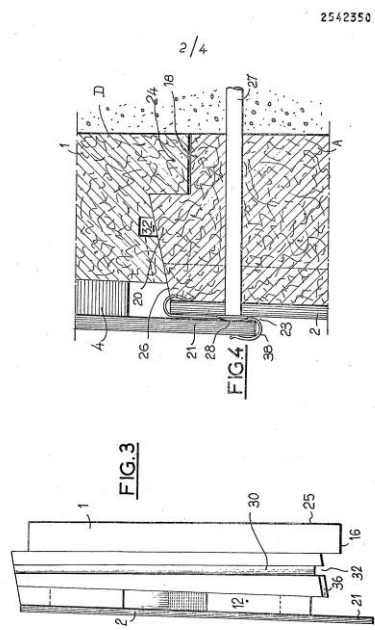
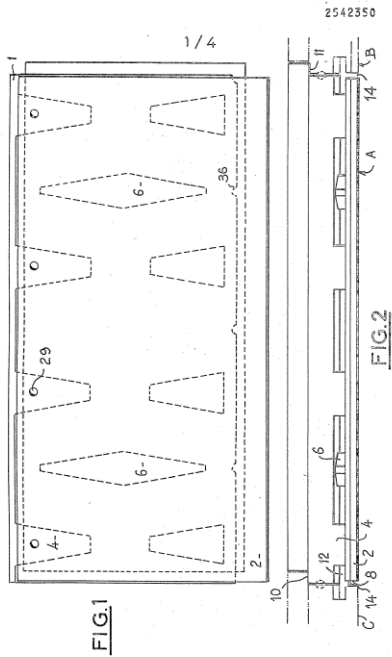
(74) Mandataire(s) : Unolt.

(54) Vêture à lame d'air ventilée.

(57) L'élément de vêture comporte un panneau 1 thermiquement isolant et rigide, qui forme sur l'une de ses faces quelques bossages 4 écartés les uns des autres. Un parement rigide 2, fixé sur ces bossages, définit ainsi une lame d'air avec le panneau 1. Les bords opposés du parement ont des formes complémentaires mais le panneau a une épaisseur croissante vers le bas. Le parement 2 se prolonge au-delà de la tranche inférieure du panneau en ayant une largeur intérieure à celle de ce dernier. Par suite, lors du montage de la vêture, les joints entre parements sont tous minces et la lame d'air est ventilée.



FR 2 542 350 - A1



SMAC

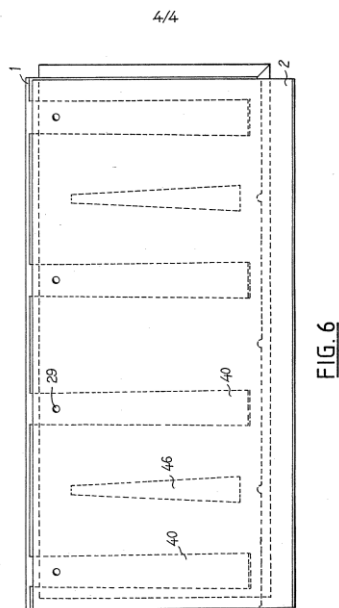
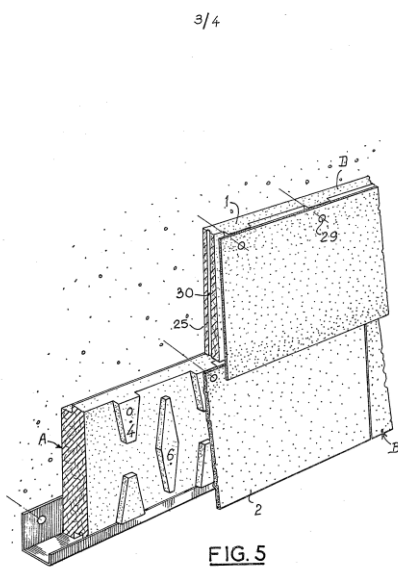
2542350

88

SMAC

2542350

89/14



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

⑪ N° de publication :
(A n°) à utiliser que pour les
commandes de reproduction.

2 520 030

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

⑲

N° 82 00665

⑤④ Procédé et système d'isolation thermique de bâtiments.

⑤① Classification internationale (Int. C.I.P.) E 04 B 1/76.

②② Date de dépôt 18 janvier 1982.

⑤③ ②② ⑤① Priorité revendiquée :

④① Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — « Lites » n° 29 du 22-7-1983.

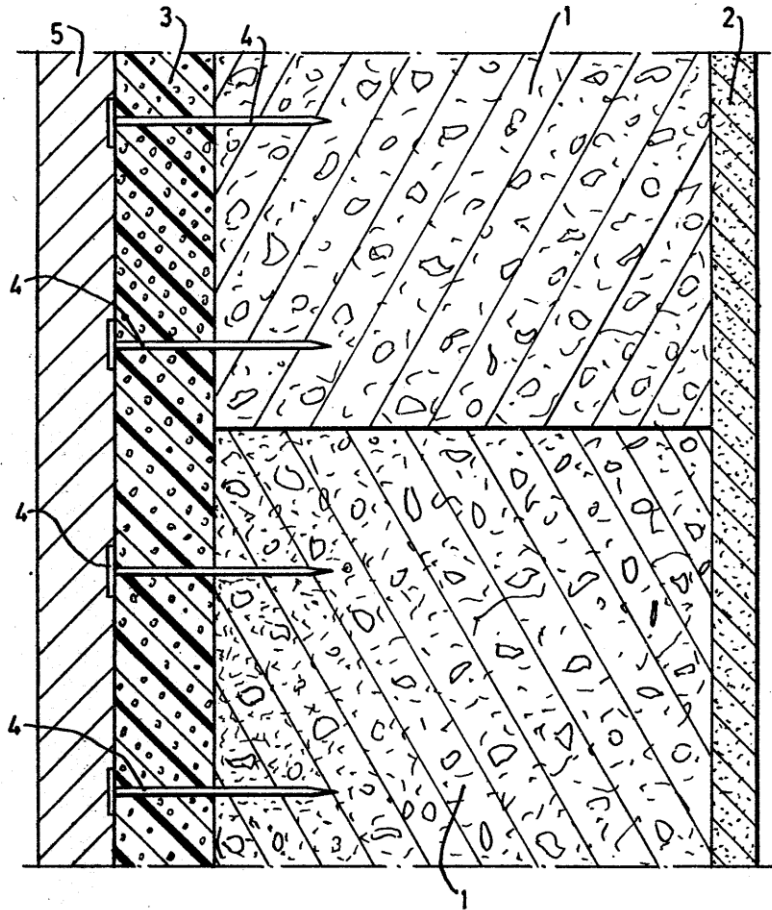
⑦① Dépositaire : Société anonyme dite : BONNAL, RENAILLAC S.A. — FR.

⑦② Invention de : Jean-Claude Pachs.

⑦③ Titulaire : idem ⑦①

⑦④ Mandataire : Cabinet Brot,
89, rue d'Amsterdam, 75008 Paris.

1/1



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

N° de publication :
à utiliser que pour les
communiqués de reproduction

2 523 620

A2

**DEMANDE
DE CERTIFICAT D'ADDITION**

(21)

N° 82 04848

Se référant : au brevet d'invention n° 81 02614 du 9 février 1981.

(84) Procédé d'isolation thermique par l'extérieur de murs existants.

(81) Classification internationale (Int. Cl.⁷) E 04 B 1/76, 2/30; E 04 F 13/00.

(22) Date de dépôt 22 mars 1982.

(23) (24) (51) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du public de la demande B.O.P.I. — « Listes » n° 38 du 23-3-1983.

(71) Dépositaire : SAMBUCHI-BOISBUCHÉ ET CIE, société anonyme. — FR.

(72) Invention de : Arsène Boisbûche.

(73) Titulaire : *idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Maléron, 42, av. du Président-Wilson, 75116 Paris.

Certificat d'addition supplémentaire :

1/2

FIG. 1

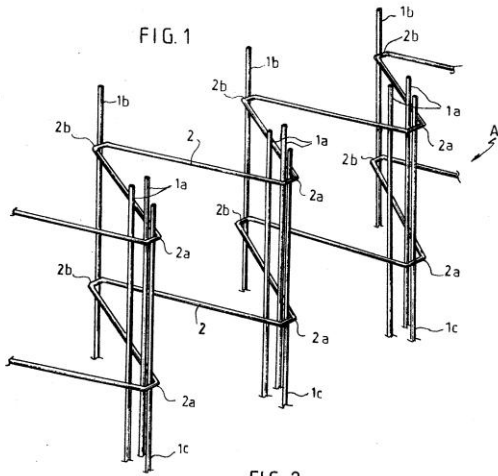
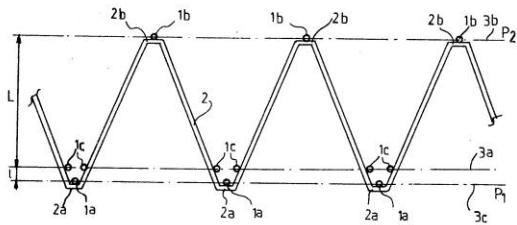
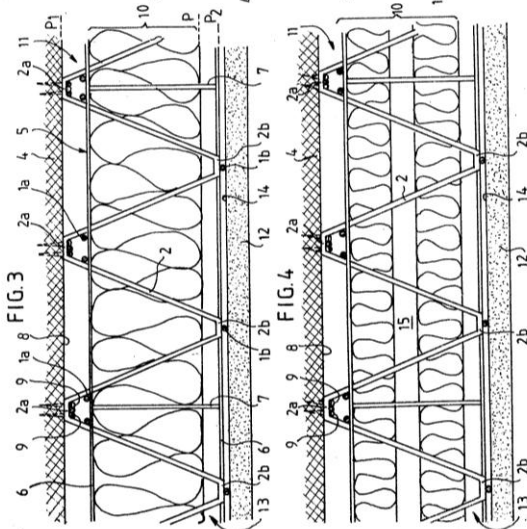
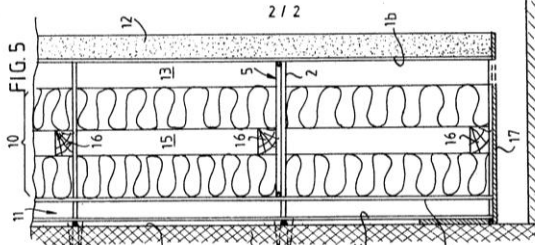


FIG. 2



2523620

2/2



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication :
A n'utiliser que pour les
procédures de dépôt et de

2 526 830

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 82 08375

(52) **Élément d'isolation thermique et procédé d'isolation thermique de parois par l'extérieur utilisant un tel élément.**

(54) **Classification internationale (Int. Cl. 4) : E 04 B 1/80; E 04 F 13/18.**

(22) **Date de dépôt : 13 mai 1982.**

(13) (52) (51) **Priorité revendiquée :**

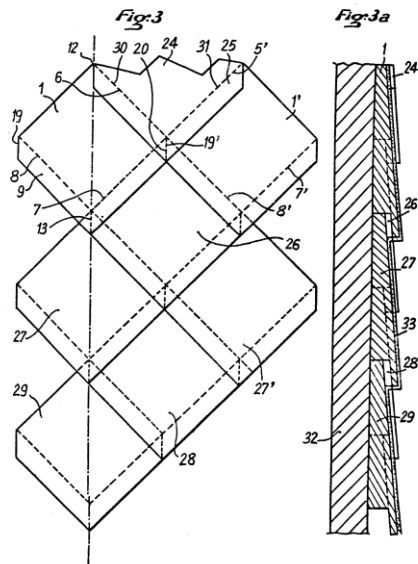
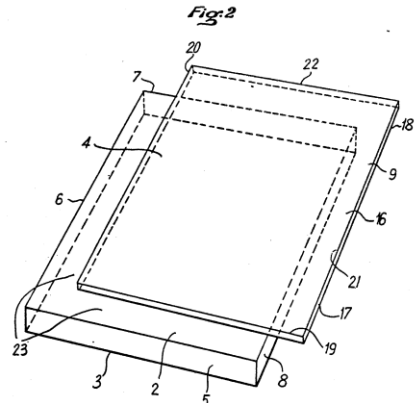
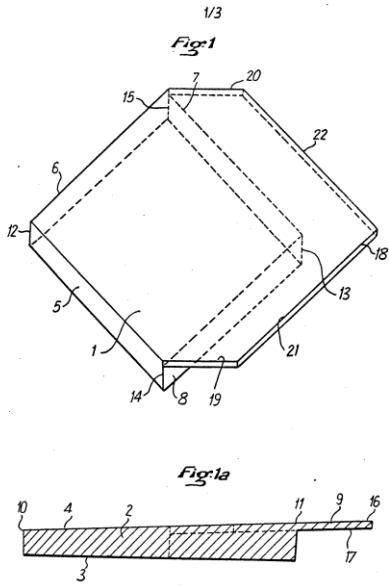
(41) **Date de la mise à la disposition du
publié de la demande : B.O.P.I. — « Listes » n° 48 du 18-11-1982.**

(71) **Déposant : Société anonyme dite : UNION CHIMIQUE ELF AQUITAINE. — FR.**

(72) **Inventeur de : François Lamore.**

(73) **Titulaire :**

(74) **Mandataire : Société nationale Elf Aquitaine, division propriété industrielle,
Tour Aquitaine, 92000 Paris La Défense Cedex 4.**



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
—
PARIS
—

(1) N° de publication :
A publier que pour les
citations de reproduction

2 529 239

A2

**DEMANDE
DE CERTIFICAT D'ADDITION**

(21)

N° 82 11231

Se référer : au brevet d'invention n° 81 08902 du 3 avril 1981.

(54) Procédé d'isolation thermique dynamique par l'extérieur de parois de bâtiment, et structure tridimensionnelle pour la mise en œuvre de ce procédé.

(51) Classification internationale (Int. Cl.⁸) : E 04 B 1/76.

(22) Date de dépôt 26 juin 1982.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — « Listes » n° 52 du 30-12-1983.

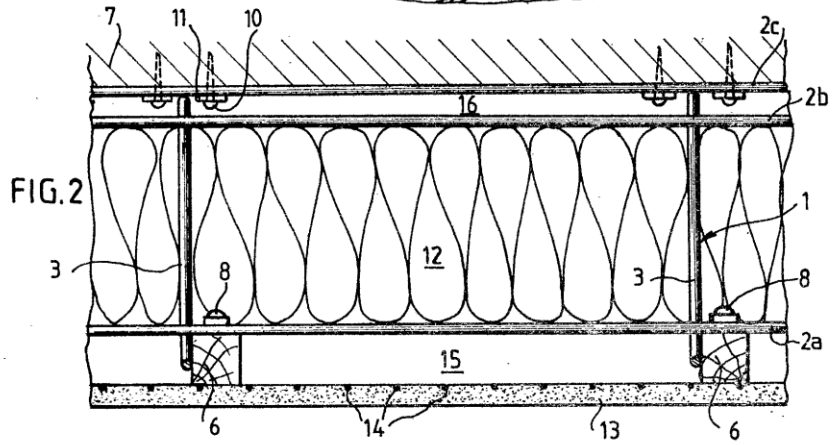
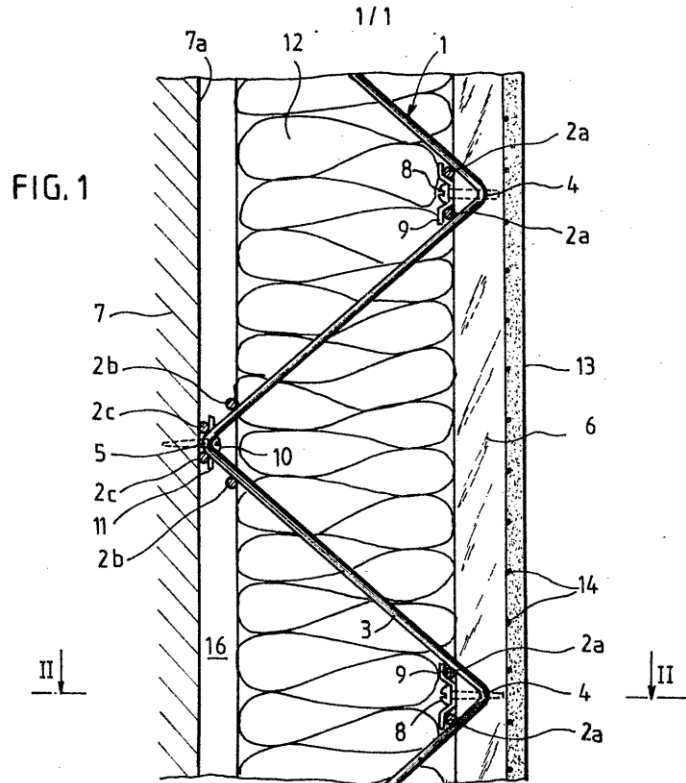
(71) Dépositaire : BOISBLUCHE Arsène et LANCELOT Claude. — FR.

(72) Invention de : Arsène Boisbluche et Claude Lancelot.

(73) Titulaire :

(74) Mandataire : Cabinet Malémeot,
42, av. du Président-Wilson, 75116 Paris.

Certificats d'addition antérieurs :



Annexe 6.Évolution des parts de marché des énergies dans le tertiaire neuf en %.

Source : CEREN

	électricité	gaz	fioul	chauffage urbain
1987	45	38	10	7
1988	49	39	6	6
1989	42	45	6	7
1990	44	43	5	8
1991	40	42	8	10
1992	29	52	8	11
1993	25	55	7	13
1994	25	54	9	12
1995	32	49	10	9
1996	29	54	10	7
1997	32	54	8	6
1998	33	53	7	7
1999	33	53	8	6
2000	31	52	7	10
2001	39	49	5	7
2002	40	47	7	6
2003	39	50	7	4
2004	41	49	6	4
2005	41	48	3	8
2006	46	43	4	7
2007	50	40	4	6
2008	52	38	4	6
2009	55	35	3	7
2010	56	34	3	7

Annexe 7. Réglementations et labels

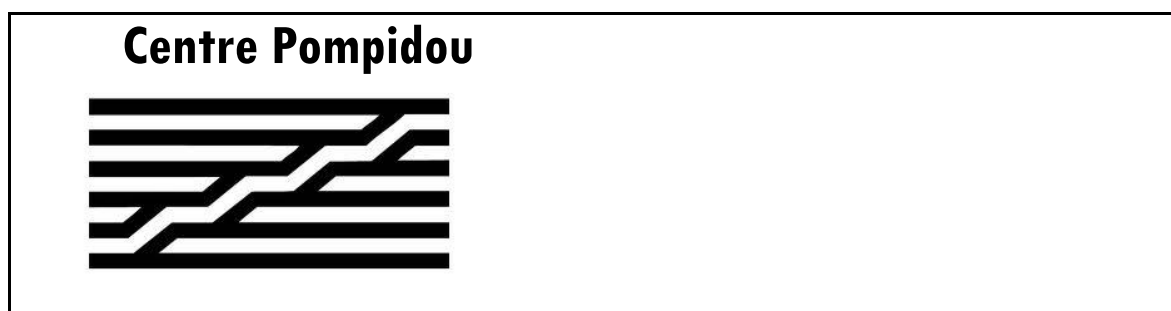
Périodes	réglementation thermique et labels
XIXsiècle	
jusqu'à 1930	
1930 – 1970	Ordonnance n° 58-1331 du 23 décembre 1958 relative à la constatation, la poursuite et la répression des infractions en matière de répartition des produits industriels et de l'énergie
1970	
1971	
1972	
1973	
1974	<p>La première réglementation thermique date de 1974, RT 1974. Circulaire n° 74-584 du 8 novembre 1974 relative aux économies d'énergie en matière d'éclairage.</p> <p>LOI n° 74-908 du 29 octobre 1974 sur les économies d'énergie. Décret n° 74-415 du 13 mai 1974 relatif au contrôle des émissions polluantes dans l'atmosphère et à certaines utilisations de l'énergie thermique.</p> <p>1974 - 1ère étape Naissance du coefficient G (G comme "déperditions Globales") Pour répondre rapidement à l'augmentation du prix de l'énergie, une isolation thermique performante pour les parois et une bonne gestion de la ventilation sont demandées aux logements neufs. Les exigences d'isolation relatives au chauffage électrique sont actualisées à un niveau plus élevé dans les années qui suivent. Les différences de performances exigées selon les énergies ne cessent de se réduire au fil des évolutions réglementaires pour disparaître totalement avec la... RT 2000 !</p>
1975	<p>application de la réglementation de 1974, Elle ne s'appliquait qu'aux bâtiments neufs d'habitation.</p> <p>Décret n° 75-79 du 7 février 1975 relatif aux transactions en matière d'infractions à la réglementation de la répartition des produits industriels et de l'énergie.</p>
1976	<p>Décret n° 76-561 du 25 juin 1976 fixant le mode de fonctionnement, la composition et les attributions du comité consultatif de l'utilisation de l'énergie.</p> <p>1976 1^{er} réglementation pour le secteur non résidentiel, apparition du coefficient G1</p>
1977	<p>Décret du 8 novembre 1977 relatif à la composition du comité consultatif de l'utilisation de l'énergie.</p> <p>LOI n° 77-804 du 19 juillet 1977 concernant certains contrats de fourniture et d'exploitation de chauffage et relatif aux économies d'énergie.</p>
1978	
1979	
1980	<p>80-531 du 15 juillet 1980 relative aux économies d'énergie et à l'utilisation de la chaleur.</p> <p>Arrêté du 21 mai 1980 relatif à l'équipement et à l'exploitation des installations thermiques consommant des huiles usagées.</p> <p>1980 Lancement du 1er label, le Label Haute Isolation Pour inciter à dépasser l'exigence réglementaire et préparer les évolutions suivantes, 140 000 logements ont reçu le label.</p>

1981	Décret n° 81-542 du 13 mai 1981 pris pour application des titres Ier, II et III de la loi n° 80-531 du 15 juillet 1980 relative aux économies d'énergie et à l'utilisation de la chaleur. Décret n° 81-436 du 4 mai 1981 relatif aux contrats d'exploitation des installations de chauffage ou de climatisation ou se référant à cette exploitation
1982	Circulaire du 23 novembre 1982 relative à la distribution d'énergie calorifique LOI n° 82-526 du 22 juin 1982 relative aux droits et obligations des locataires et des bailleurs. 1982 - 2ème étape Arrivée du coefficient B (B comme "Besoins de chauffage") Les niveaux d'isolation du Label Haute Isolation deviennent obligatoires pour tous les logements. Fait nouveau : les apports solaires sont déduits des déperditions pour calculer les besoins de chauffage.
1983	Arrêté du 10 août 1983 relatif au contrôle de la distribution du fioul domestique. 1983 Lancement des labels Haute Performance Energétique (HPE) et Solaire Quatre niveaux de performance sont proposés pour donner davantage de lisibilité aux efforts d'amélioration des performances du secteur de la construction. Le programme H2E85 (Habitat Econome en Energie à l'horizon 1985) en est l'aboutissement.
1984	
1985	
1986	Décret n° 86-431 du 13 mars 1986 portant suppression du Comité national interprofessionnel pour les économies d'énergie
1987	
1988	La deuxième réglementation thermique 1988, RT 1988. Circulaire du 5 mai 1988 relative au modèle de règlement du service de distribution d'énergie calorifique 1988 - 3ème étape Introduction du coefficient C (C comme "Consommations") ; 1er renforcement de la réglementation pour le secteur non résidentiel ; progression des labels HPE et Solaire Cette nouvelle étape correspond au renforcement des performances exigées, au niveau 2 du Label HPE. L'exigence réglementaire porte désormais sur la consommation C, "somme des besoins en chauffage corrigée des rendements des systèmes de chauffage ou d'eau chaude sanitaire". Le niveau d'exigence du secteur tertiaire est rehaussé et certaines exigences sont ajoutées en matière de régulation-programmation, de ventilation et de climatisation.
1989	
1990	
1991	Décret n° 91-732 du 26 juillet 1991 relatif à l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
1992	Décret n° 92-1466 du 31 décembre 1992 soumettant à contrôle et à répartition les produits visés à l'article 1er de la loi n° 74-908 du 29 octobre 1974 modifiée relative aux économies d'énergie. LOI n° 92-1443 du 31 décembre 1992 portant réforme du régime pétrolier. Arrêtés du 1er décembre 1992 relatifs à la création de sections permanentes du comité consultatif de l'utilisation de l'énergie.
1993	Circulaire n° 93-16 du 10 février 1993 relative à certains fluides frigorigènes utilisés dans les équipements frigorifiques et climatiques
1994	Arrêté du 9 mai 1994 relatif au rendement des chaudières à eau chaude alimentées en combustibles liquides ou gazeux et à leur marquage
1995	
1996	LOI n° 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie.

	Circulaire DPPR-SEI/DGS-VS 3 n° 96-336 du 28 mai 1996 relative aux procédures d'information de la population en cas de pointe de pollution atmosphérique par l'ozone.
1997	Décret n° 97-834 du 4 septembre 1997 supprimant la consultation préalable de l'administration en matière d'utilisation de l'énergie
1998	<p>Arrêté du 1er décembre 1998 abrogeant l'arrêté du 5 juillet 1977 relatif aux visites et examens approfondis périodiques des installations consommant de l'énergie thermique.</p> <p>Circulaire du 22 septembre 1998 relative à la délivrance de la pastille verte aux véhicules équipés par anticipation.</p> <p>Décret n° 98-833 du 16 septembre 1998 relatif aux contrôles périodiques des installations consommant de l'énergie thermique.</p> <p>Circulaire du 17 août 1998 relative à la loi n° 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (Mesures d'urgence concernant la circulation des véhicules).</p> <p>Arrêté du 17 août 1998 relatif aux seuils de recommandation et aux conditions de déclenchement de la procédure d'alerte.</p> <p>Décret n° 98-360 du 6 mai 1998 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites.</p> <p>Circulaire DGS/VS 3 n° 98-189 du 24 mars 1998 relative aux aspects sanitaires des plans régionaux de la qualité de l'air</p>
1999	
2000	La troisième réglementation thermique date de 2000 (RT 2000). Elle s'appliquait aux bâtiments neufs résidentiels (consommation maximale réduite de 20% par rapport à la RT 1988) et tertiaires (consommation maximale réduite de 40%)
2001	
2002	
2003	Décret n° 2003-1240 du 22 décembre 2003 modifiant le décret n° 92-1466 du 31 décembre 1992 soumettant à contrôle et à répartition les produits visés à l'article 1er de la loi n° 74-908 du 29 octobre 1974 modifiée relative aux économies d'énergie;
2004	
2005	<p>la RT 2005</p> <p>Il a été créé parallèlement à la RT 2005, des labels apportant une amélioration par rapport à la RT 2005.</p> <ul style="list-style-type: none"> - HPE (Haute performance énergétique) 2005, consommation maximale réduite de 10%, - HPE EnR (HPE - Énergie Renouvelable) 2005, consommation maximale réduite de 10%, avec utilisation d'énergie renouvelable, - THPE (Très Haute Performance Énergétique) 2005, consommation maximale réduite de 20%,

	<p>- THPE EnR 2005, consommation maximale réduite de 30%, avec utilisation d'énergie renouvelable,</p> <p>- BBC (Bâtiment de basse consommation) 2005, consommation maximale à 50 kWh/m²/an (à peu près 50%).</p>
2006	la RT 2005 demande une amélioration de 15% de la performance thermique et s'applique aux bâtiments neufs et aux parties nouvelles. Depuis, la réglementation thermique, par des arrêtés complémentaires, s'attaque au domaine de la rénovation.
2007	
2008	
2009	HPE Rénovation 2009, consommation maximale à 150 kWh/m ² /an, BBC Rénovation 2009, consommation maximale à 80 kWh/m ² /an

Annexe 8. Consommation d'énergie Centre Pompidou

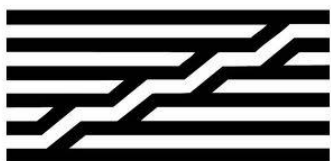


Consommations		annuelles		d'énergie	
<i>Période de relevés de consommations considérée</i>	<i>de</i>	<i>de</i>	<i>de</i>	<i>:1977</i>	<i>- 1997</i>
<i>Surface utile : 80 100 m²</i>					
		Consommations en énergies finales		Consommations en énergie primaire	
		<i>détail par usage en kWh_{EF}</i>		<i>détail par usage en kWh_{EP}</i>	
Chauffage		5255817,174		13560008,31	
Eau chaude sanitaire		185063,985		477465,0813	
Refroidissement		3701279,7		9549301,626	
Ventilation		12510325,39		32276639,5	
Eclairage		6551265,069		16902263,88	
Cuisine		740255,94		1909860,325	
Bureautique		8068789,746		20817477,54	
Ascenseur(s)					
Autres usages					
Production d'énergie à demeure		-		-	
TOTAL		37012797		95493016,26	

Consommations		annuelles		d'énergie	
<i>Période de relevés de consommations considérée</i>	<i>de</i>	<i>de</i>	<i>de</i>	<i>:1977</i>	<i>- 1997</i>
<i>Surface utile : 80 100 m²</i>					
		Consommations en énergies finales		Consommations en énergie primaire	
		<i>détail par énergie en kWh_{EF}</i>		<i>détail par énergie en kWh_{EP}</i>	
Bois, biomasse		-		-	
Electricité		37012797		95493016,26	
Gaz		-		-	
Production d'énergie à demeure		-		-	
TOTAL		37012797		95493016,26	

Consommation estimée : 462 kWh_{EF}/m².an soit 1192 kWh_{EP}/m².an
Estimation des émissions GES : 39 kg_{CO2}/m².an

Centre Pompidou

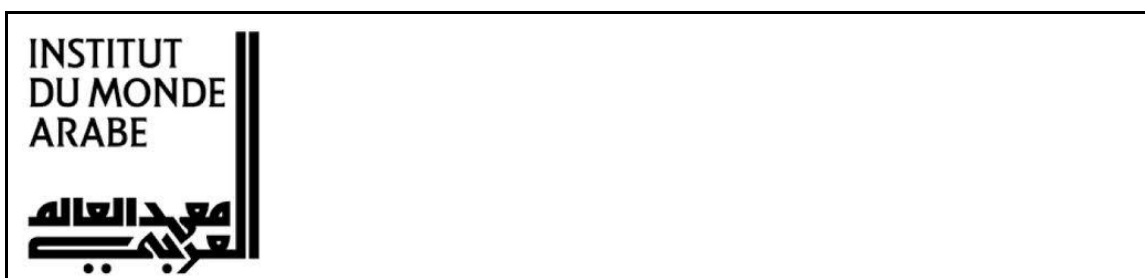


Consommations annuelles d'énergie		
<i>Période de relevés de consommations considérée : 2000 - 2012</i>		
<i>Surface utile : 80 100 m²</i>		
	Consommations en énergies finales	Consommations en énergie primaire
	<i>détail par usage en kWh_{EF}</i>	<i>détail par usage en kWh_{EP}</i>
Chauffage	6435532,572	5296443,307
Eau chaude sanitaire	226509,428	186417,2592
Refroidissement	2165248,625	5586341,451
Ventilation	7328533,806	18907617,22
Eclairage	3849330,888	9931273,691
Cuisine	425647,1655	1098169,687
Bureautique	4737638,016	12223106,08
Ascenseur(s)		
Autres usages		
Production d'énergie à demeure	-	-
TOTAL	25168440,5	53229368,7

Consommations annuelles d'énergie		
<i>Période de relevés de consommations considérée : 2000 - 2012</i>		
<i>Surface utile : 80 100 m²</i>		
	Consommations en énergies finales	Consommations en énergie primaire
	<i>détail par énergie en kWh_{EF}</i>	<i>détail par énergie en kWh_{EP}</i>
Bois, biomasse	-	-
CPCU	6662042	5482860,566
Electricité	18506398,5	47746508,13
Gaz	-	-
Production d'énergie à demeure	-	-
TOTAL	25168440,5	53229368,7

Consommation estimée : 314 kWh_{EF}/m².an soit 665 kWh_{EP}/m².an
Estimation des émissions GES : 36 kg_{CO2}/m².an

Annexe 9. Consommation d'énergie IMA



Consommations annuelles d'énergie		
<i>Période de relevés de consommations considérée</i>	<i>:1987 - 2000</i>	
<i>Surface utile : 18 355 m²</i>		
	Consommations en énergies finales	Consommations en énergie primaire
	<i>détail par usage en kWh_{EF}</i>	<i>détail par usage en kWh_{EP}</i>
Chauffage	1435000	1181005
Eau chaude sanitaire	21797	56236,26
Refroidissement	77939	201082,62
Ventilation	723826	1867471,08
Eclairage	995004	2567110,32
Bureautique	1428096	3684487,68
Ascenseur(s)		
Autres usages		
Production d'énergie à demeure	-	-
TOTAL	4681662	9557392,96

Consommations annuelles d'énergie		
<i>Période de relevés de consommations considérée</i>	<i>:1987 - 2000</i>	
<i>Surface utile : 18 355 m²</i>		
	Consommations en énergies finales	Consommations en énergie primaire
	<i>détail par énergie en kWh_{EF}</i>	<i>détail par énergie en kWh_{EP}</i>
Bois, biomasse	-	-
CPCU	1435000	1181005
Electricité	3246662	8376387,96
Gaz	-	-
Production d'énergie à demeure	-	-
TOTAL	4681662	9557392,96

Consommation estimée : 255 kWh_{EF}/m².an soit 521 kWh_{EP}/m².an
Estimation des émissions GES : 30 kg_{CO2}/m².an

Annexe10. Consommation d'énergie Musée d'Orsay



Consommations annuelles d'énergie		
<i>Période de relevés de consommations considérée : 1986 - 2012</i>		
<i>Surface utile : 46 000 m²</i>		
	Consommations en énergies finales	Consommations en énergie primaire
	<i>détail par usage en kWh_{EF}</i>	<i>détail par usage en kWh_{EP}</i>
Chauffage	6207732,58	5108963,913
Eau chaude sanitaire	126688,42	104264,5697
Refroidissement	982728,265	2535438,924
Ventilation	1988579,548	5130535,234
Eclairage	4139020,222	10678672,17
Bureautique	4451180,965	11484046,89
Ascenseur(s)		
Autres usages		
Production d'énergie à demeure	-	-
TOTAL	17895930	35041921,7

Consommations annuelles d'énergie		
<i>Période de relevés de consommations considérée : 1986 - 2012</i>		
<i>Surface utile : 46 000 m²</i>		
	Consommations en énergies finales	Consommations en énergie primaire
	<i>détail par énergie en kWh_{EF}</i>	<i>détail par énergie en kWh_{EP}</i>
Bois, biomasse	-	-
CPCU	6334421	5213228,483
Electricité	11561509	29828693,22
Gaz	-	-
Production d'énergie à demeure	-	-
TOTAL	17895930	35041921,7

Consommation estimée : 389 kWh_{EF}/m².an soit 761 kWh_{EP}/m².an
Estimation des émissions GES : 48 kg_{CO2}/m².an

Résumé en Français

La crise pétrolière de 1974 frappe de plein fouet la consommation énergétique. Cette crise bouleverse d'abord la consommation quotidienne, les entreprises qui consomment beaucoup d'énergie (acier, automobile, ... etc.), puis l'État qui voit se réduire les taxes pétrolières pour régulariser le marché public. Ainsi les citoyens, surtout les parisiens, qui ont peu de ressources énergétiques doivent changer leurs habitudes de consommation. Réduire la consommation énergétique dans la construction devient une nécessité et l'État doit montrer l'exemple. Les bâtiments publics, neufs, rénovés ou restaurés servent d'exemple et illustrent les prises de position de l'État. S'occuper des économies d'énergie dans des bâtiments publics, c'est montrer l'intérêt que l'État manifeste vis-à-vis du domaine public. Le but de ce projet est de reconstituer les manières de répartir les traditions et les décisions dans la gestion énergétique et les nouveaux moyens techniques appliqués à la construction des édifices. Les résultats mettent en évidence cette problématique à travers l'étude de quelques bâtiments publics réalisés/édifiés en Île-de-France rapidement après la crise pétrolière de 1974.

Mots-clés : crise pétrolière, bâtiment public, économie d'énergie, architecture solaire, architecture hygiène, réglementation thermique, efficacité énergétique, maintenance, maîtrise d'ouvrage.

Résumé en anglais

The oil crisis of 1974 strikes quite hard the energy consumption. First of all, this crisis has disturbed the daily consumption, the companies which consume a lot of energy (steel, automobile, etc.) Then the State which reduced the oil taxes to settle the public market. The citizens, especially the Parisians who have a little reserve of energy resources may need to change their consumption habits. Reducing the energy consumption in the buildings becomes a necessity and the government has to show the example. The public, new, renewed or restored buildings, display the examples that the government wants to give of its new position. Dealing with the question of energy savings in public buildings, is also showing the governmental interest towards its public sector. See how the traditions and the decisions in the energy management and the new technical means applied to the construction of buildings are the purposes of this research, which highlights this problem and applies it to some of the public buildings realized recently after the oil crisis of 1974 in Ile-de-France .

Keywords: oil crisis, public building, energy conservation, solar architecture, health architecture, thermal regulation, energy efficiency, maintenance, project management.