Condenseurs Radiatifs de la Vapeur d'Eau Atmosphérique (Rosée) Comme Source Alternative d'Eau Douce

Owen CLUS

Condenseurs Radiatifs de la Vapeur d'Eau Atmosphérique (Rosée) Comme Source Alternative d'Eau Douce

- Conv. UdC / CEA / CNRS-ESPCI Paris ; 2000 – 2007
- Conv. UdC / CEA / CNRS-ESPCI Paris / UPF ; 2005

Financement :
bourse de la Collectivité Territoriale de Corse

Introduction

2007, Constat accablant des institutions internationales ONU, UNICEF, GIEC

- 1,1 Milliards de personnes avec moins de 15 L / j / hab
- 2 à 8 millions de décès par an
- Faible potentiel technologique

Régions arides, désertification

- fixer les populations
- fournir 2 L / jour / personne

Europe, latitudes tempérées

- Sites isolés
- Ressource complémentaire

1. *Ressource Rosée*

Volumes comparés (Km^3) d'eau douce à la surface du globe

- 69 % Neiges, glaces : 24 Millions ;
- 30 % Eau souterraine: 10,5 Millions
- 3 ‰ Eau libre : 0,1 Million
- 0,4 ‰ Précipitations annuelles : 13 000
- 0,4 ‰ Vapeur : 12 900 (2 % de nuages)

Ressource atmosphérique

- Nuages / Pluie : condensée
- Brouillard : condensé / aérosols
- Vapeur d'eau : gaz

1. *Ressource Rosée*

Refroidissement radiatif

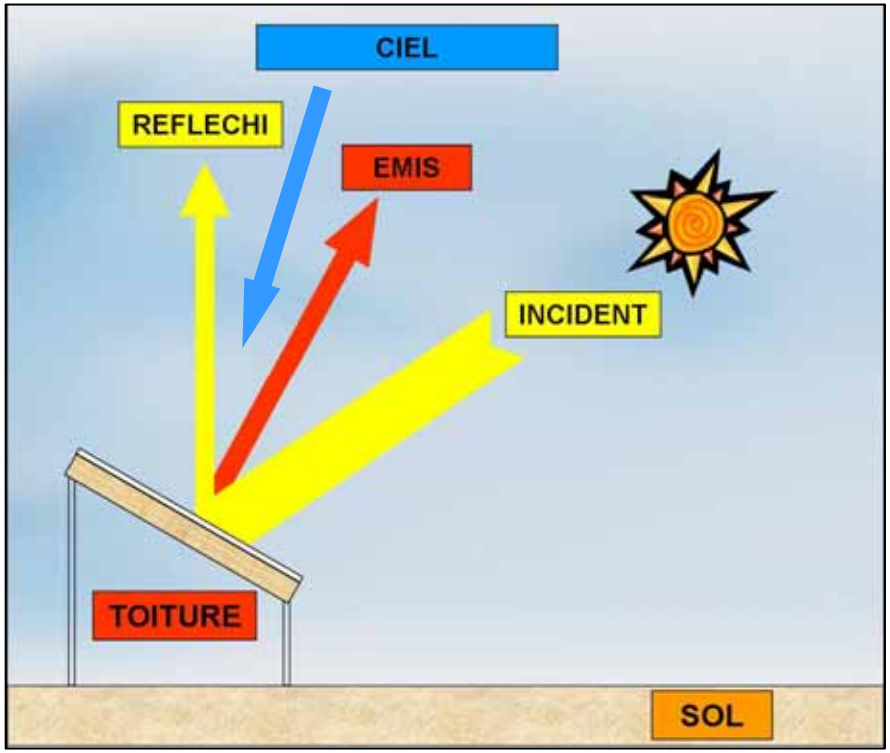
- ❖ jour: climatisation passive
- ❖ nuit : condensation de rosée

DE JOUR :

- ❖ Reflectance importante du rayonnement solaire
- ❖ Émissivité en IR dépend de la constitution du matériau

DE NUIT :

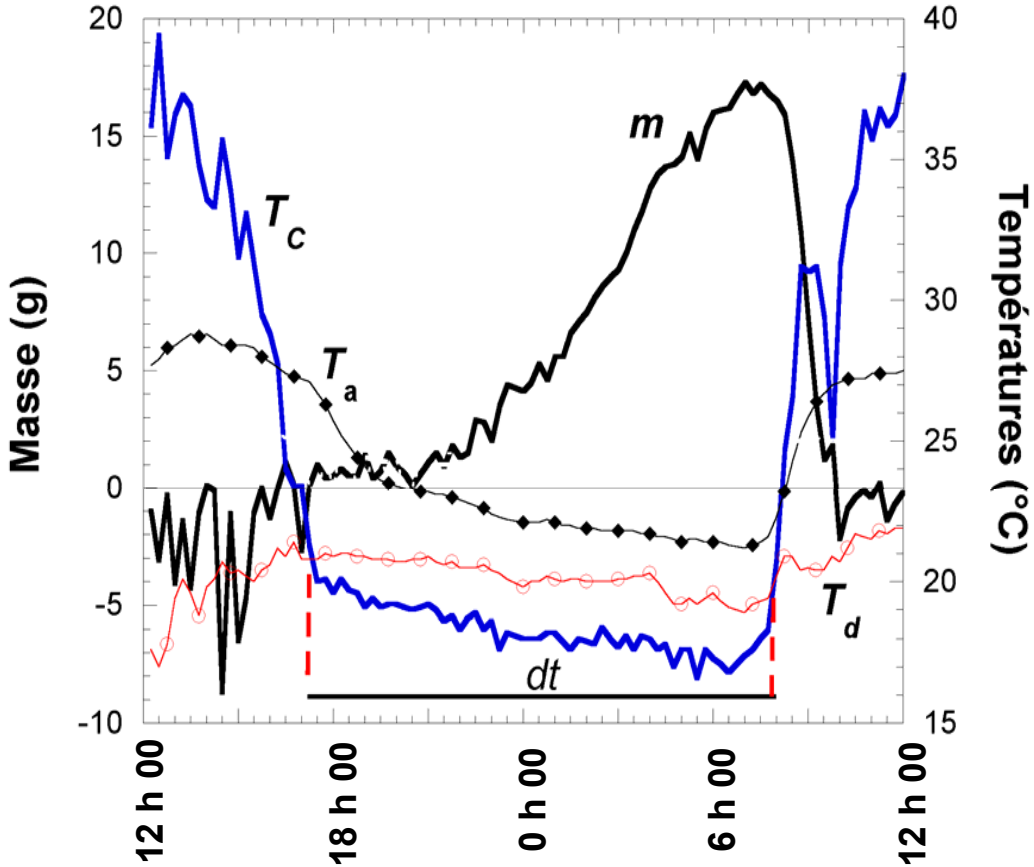
- ❖ dissipation de 50 à 150 W/m²
- ❖ température de surface jusqu'à 10°C en dessous de *Ta*



1. *Ressource Rosée*

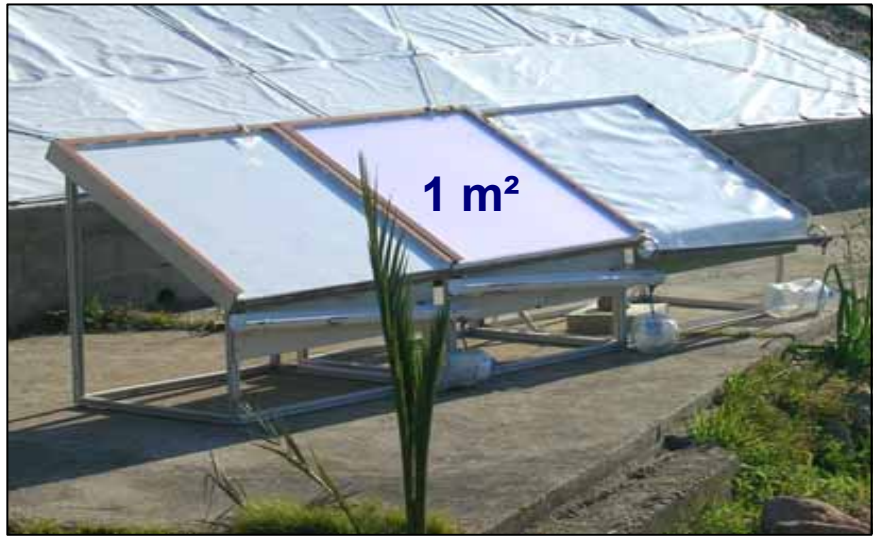
Condensation de rosée

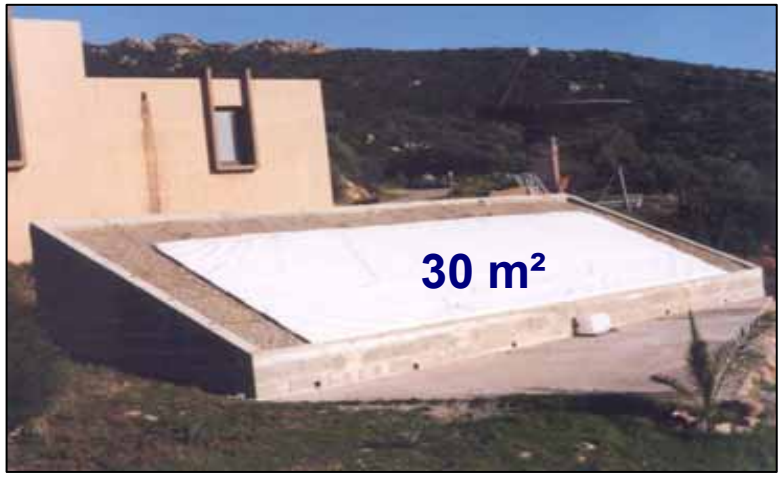
m = f(t)



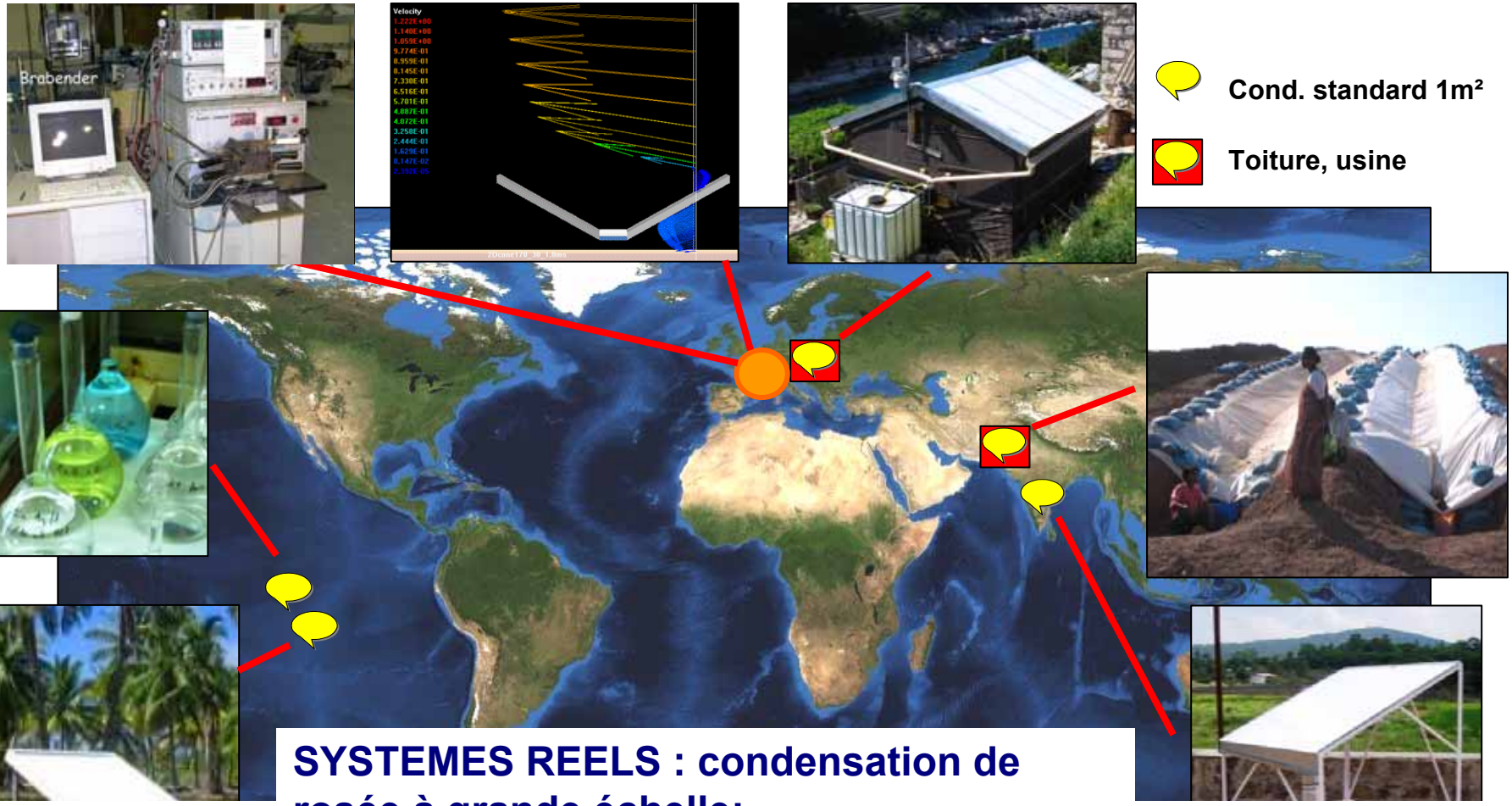
Rendement théorique maximal d'environ 800 g/m² ou 0,8 mm

1. *Ressource Rosée*





2. Du pilote aux systèmes réels

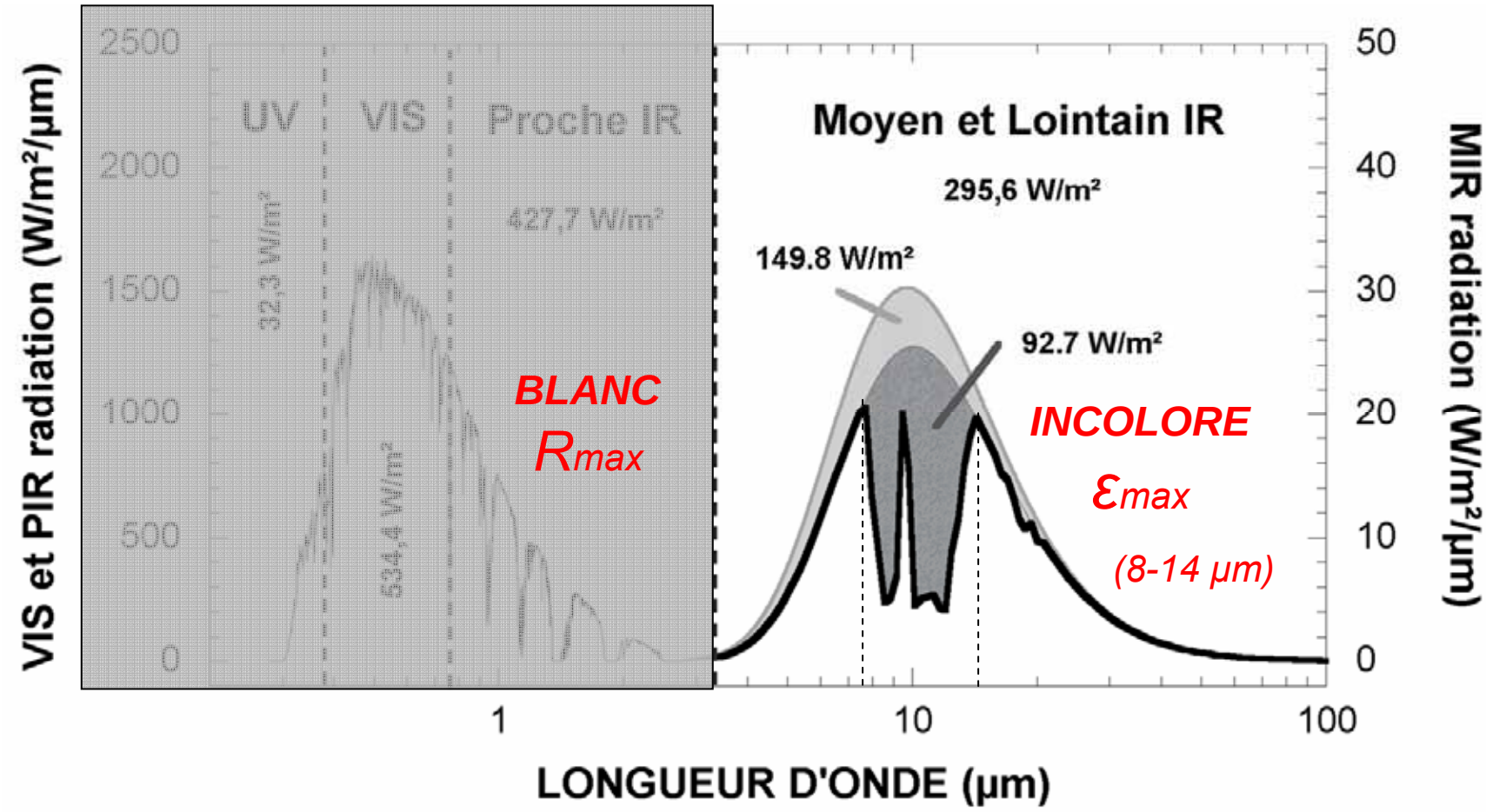


SYSTEMES REELS : condensation de rosée à grande échelle:
Toiture sur l'île de Bisevo (15 m², Croatie)
Usine à rosée (850 m², Gujarat, Inde)

MODELE NU **e de simulation**
n **atifs.**

I.1. *Cahier des charges*

PROPRIETES OPTIQUES SELECTIVES :



I.1. *Cahier des charges*

PROPRIETES OPTIQUES SELECTIVES :

- R_{max} sur le spectre solaire
- ε_{max} en Moyen Infrarouge

ETAT DE SURFACE

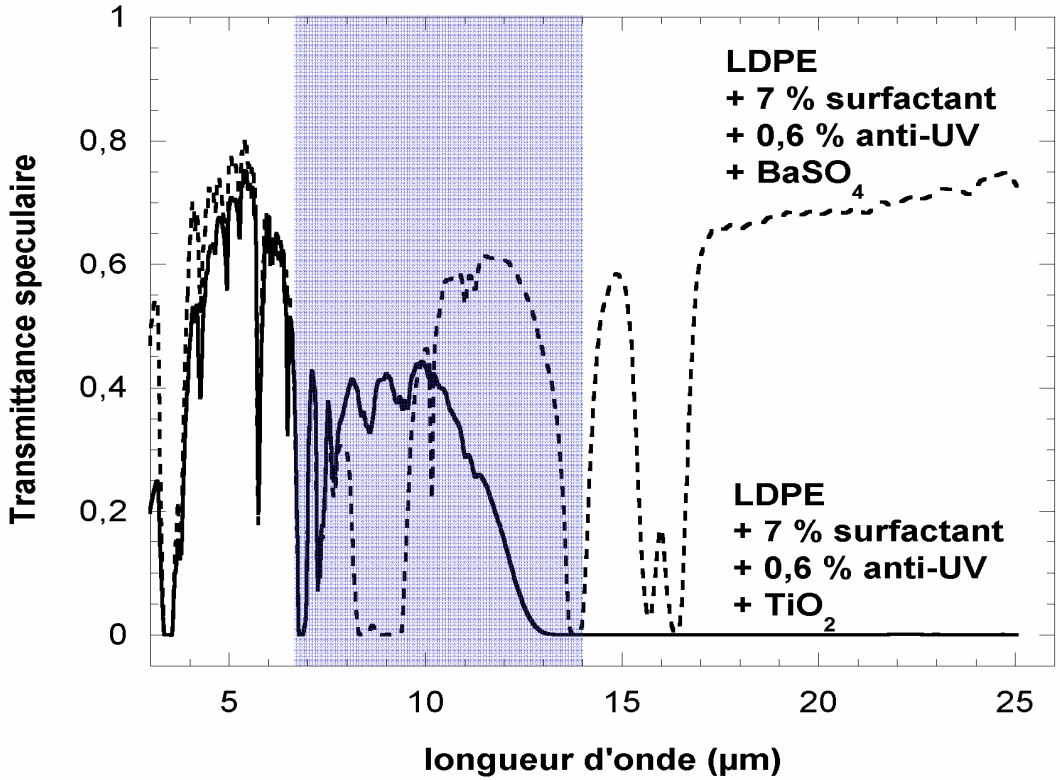
- surface hydrophile
- contact alimentaire

TRANSFERT DE TECHNOLOGIE

- Coût inférieur à 1 € / m²
- Deux types de matériaux, films plastiques et peintures
- 3 applications : blanc opaque, blanc diffus et incolore

I.2. *Formulation*

- Choix des bases polymères : application, peinture, film
- Choix des charges minérales, à partir du spectre IR

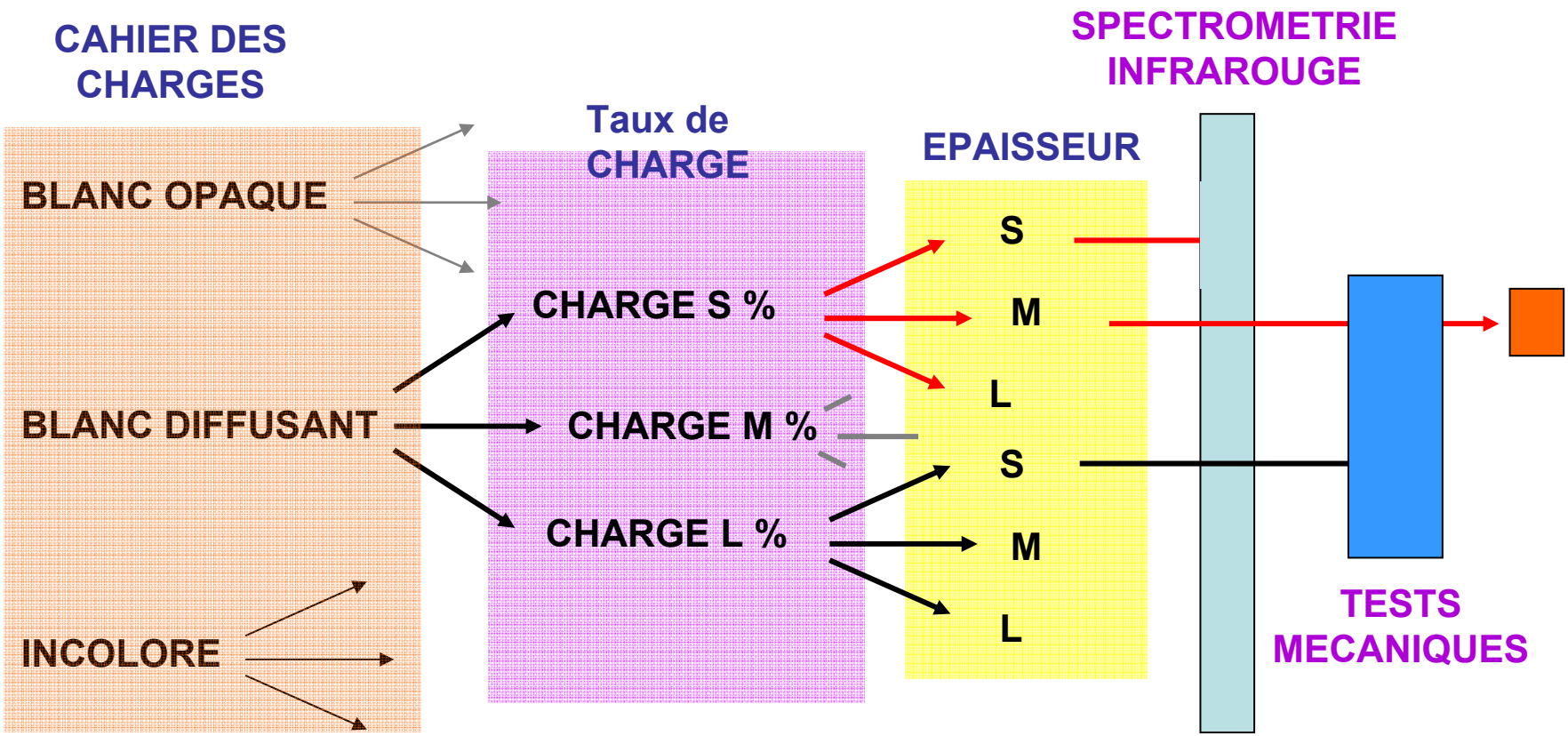


Film

415 µm

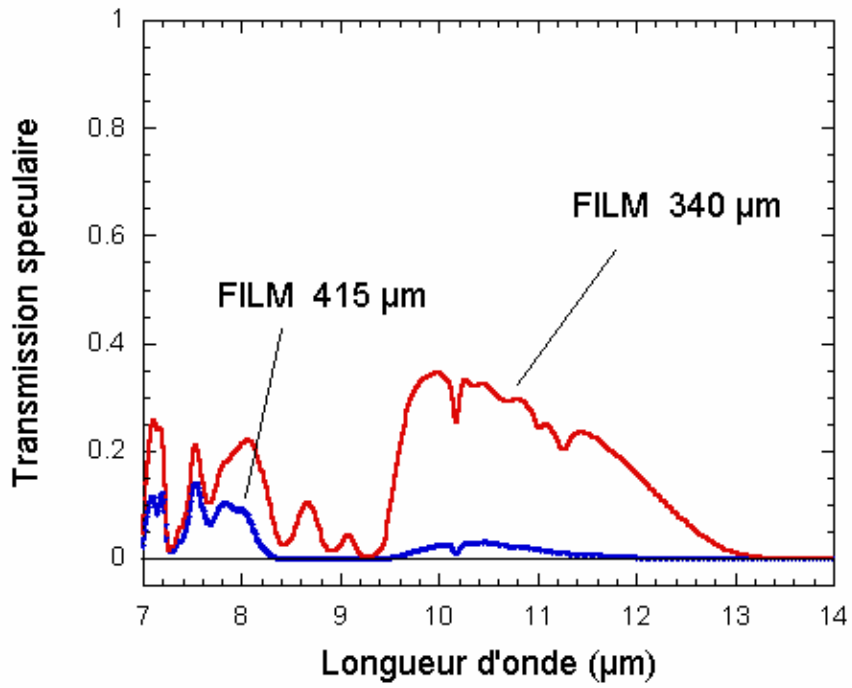
I.2. *Formulation*

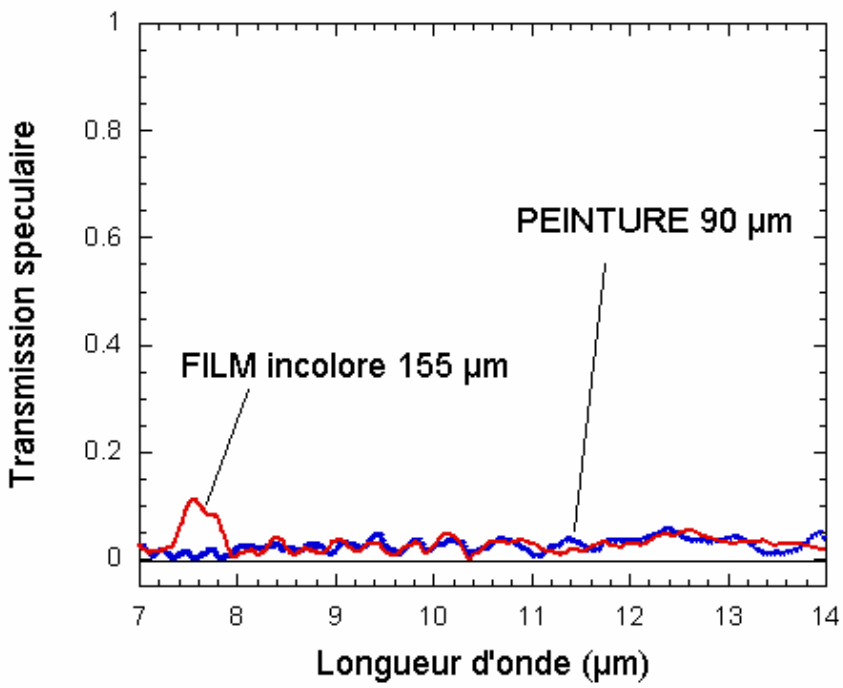
BATCH / FILM / SPECTROMETRIE



I.3. *Résultat*

Transmittance / émissivité



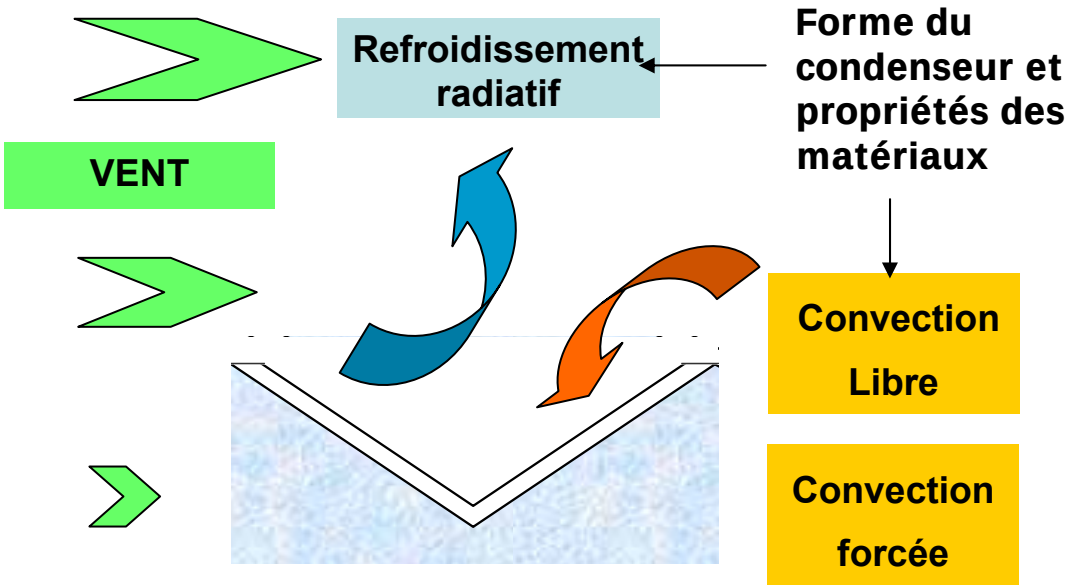


- Efficacité supérieure pour épaisseur et coût inférieur
- Brevet…

II. *Simulations*

LE CONDENSEUR

MACHINE THERMIQUE

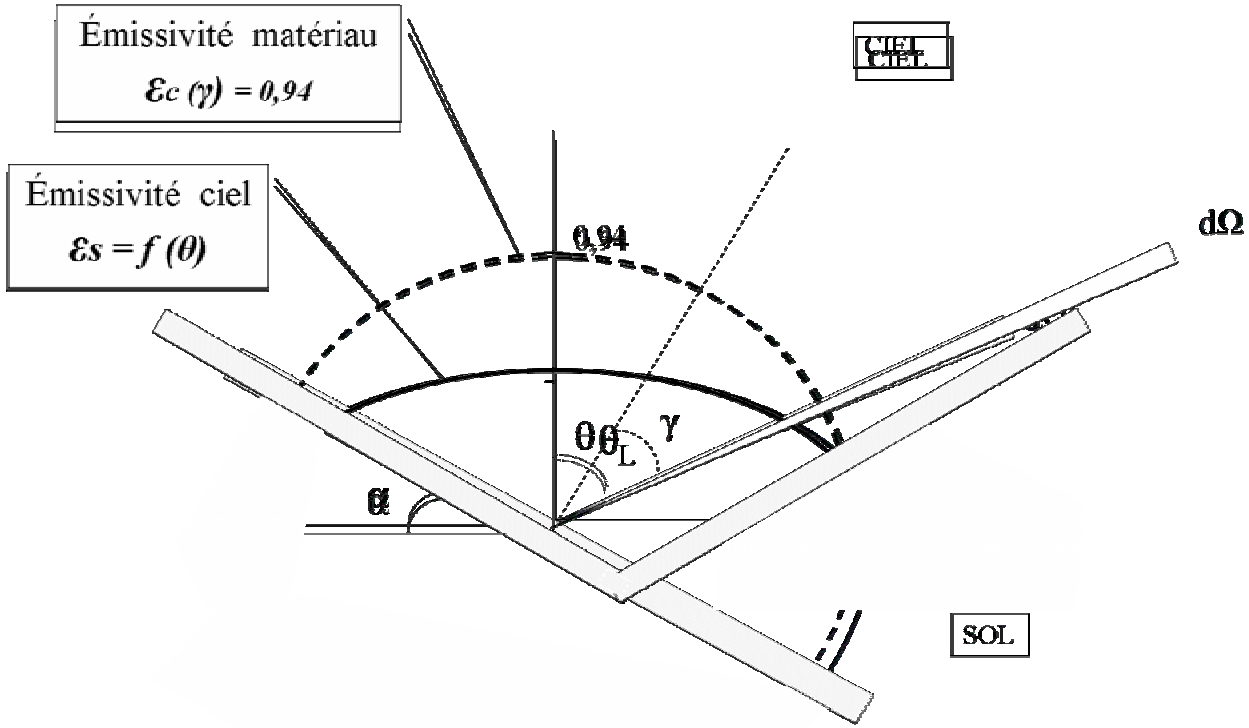


- condensation par vents faibles ; régime convectif mixte libre / forcée
- Variabilité des données météorologiques implique des temps d'exposition supérieurs
- Pas de description sans correction empirique pour les formes complexes

II.1. *Refroidissement radiatif en CFD*

Bilan radiatif pour chaque géométrie : $dR = (\varepsilon_{s,\theta}\ \sigma T_{amb}^{4} - \varepsilon_r \sigma T_{rad}^{4})\ d\Omega$

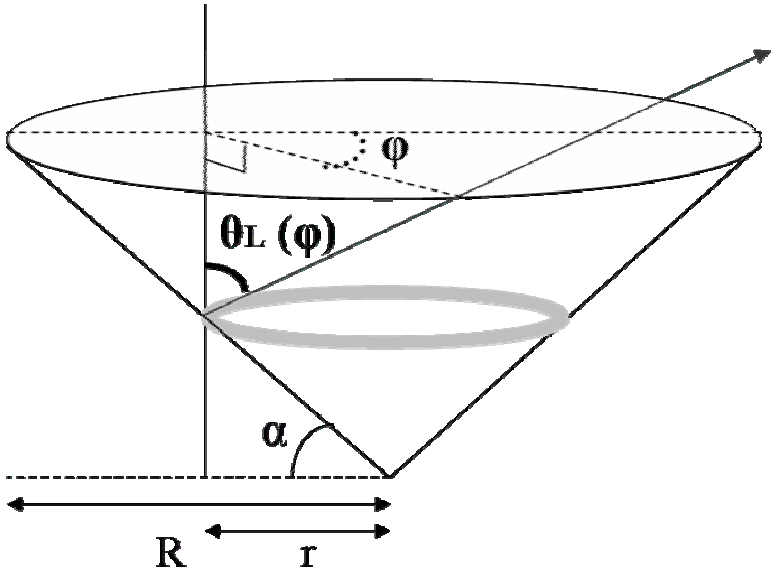
- CIEL : émissivité angulaire : $\varepsilon_{s,\theta} = 1 - (1 - \varepsilon_s)^{1/b \times \cos\theta}$
- RADIATEUR : émissivité isotrope : $\varepsilon_r = 0.94$

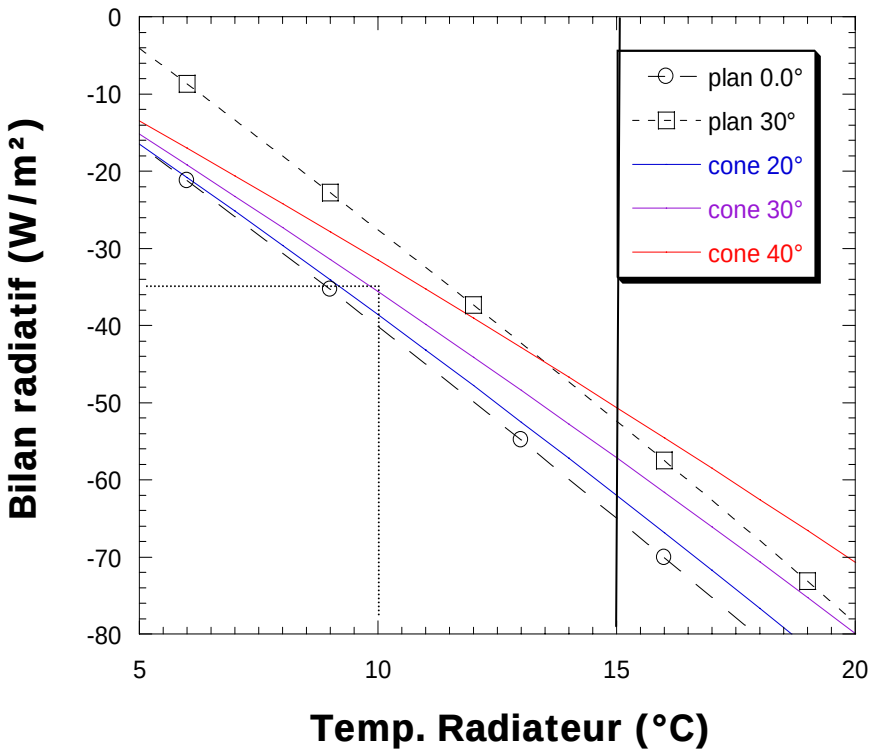


II.1. *Refroidissement radiatif en CFD*

Programme pour intégrer le bilan radiatif spécifique à chaque forme

- intégration angulaire
- loi de dissipation $P_R = f(T)$



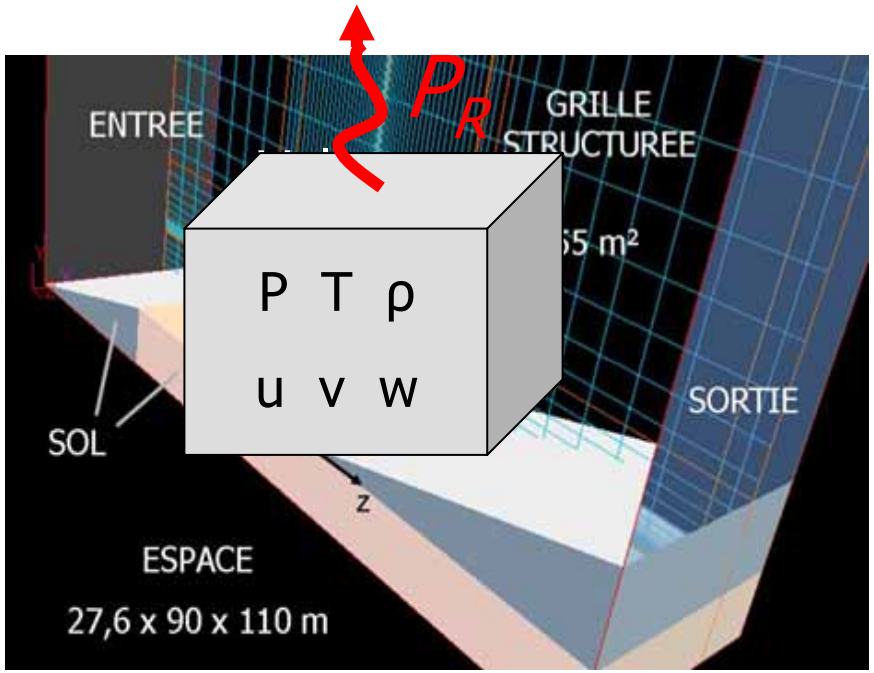


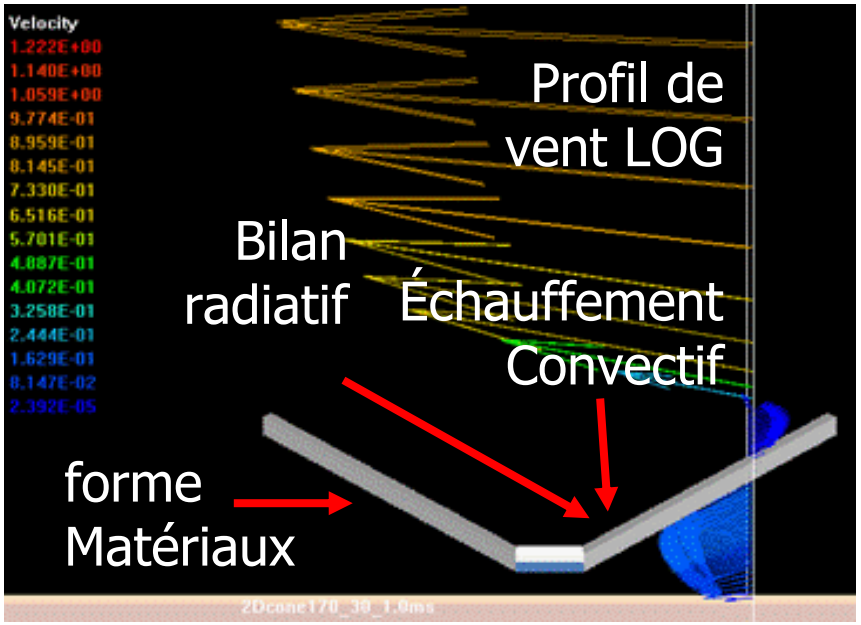
II.1. *Refroidissement radiatif en CFD*

❖ Espace de simulation 3D ou 2D

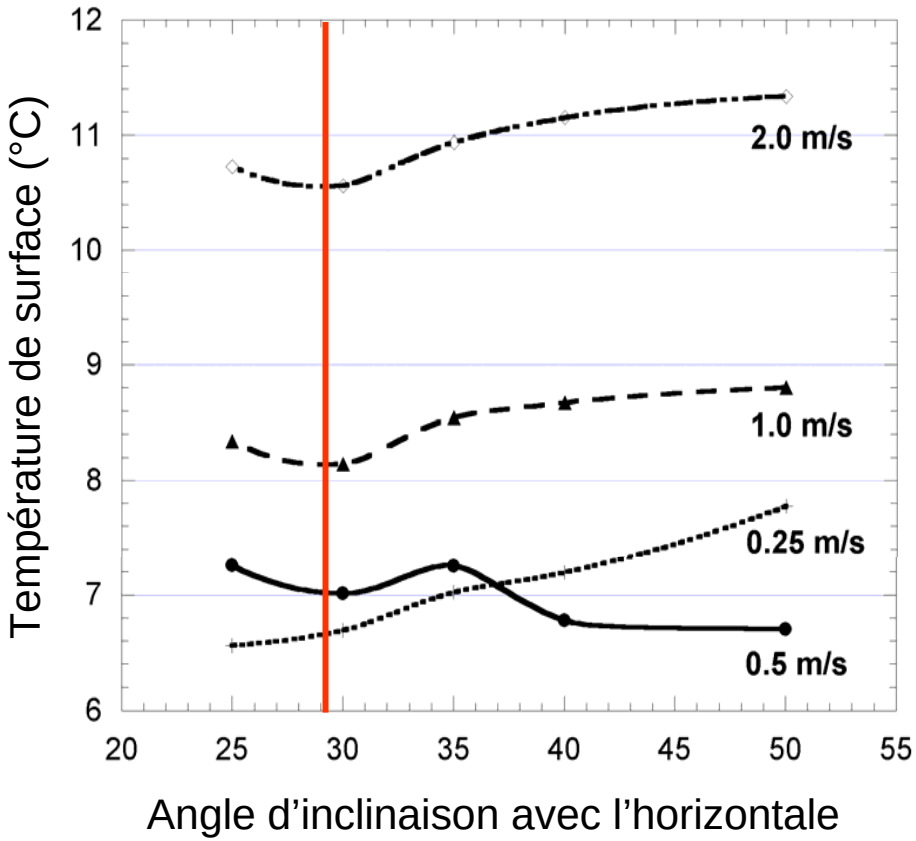
❖ Le réchauffement convectif pour des vitesses de vent variées est donné par calcul itératif des transferts entre cellules voisines

❖ La puissance radiative P_R est dissipée pour chaque cellule élémentaire du radiateur (condenseur) à T_{RAD}





II.2. *Applications*



7.3 m², Φ 3 m

3.160 L rosée / nuit

+ 38 % de rendement par rapport au condenseur plan 1m²

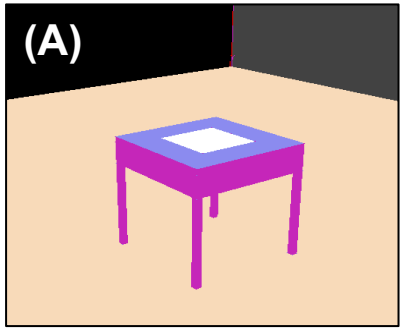
II.2. *Applications*

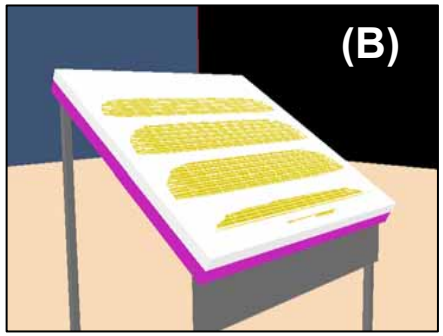
0.16 m²

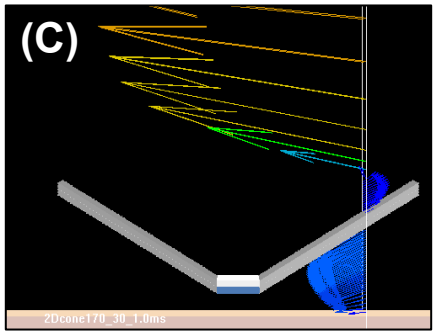
1 m² REF

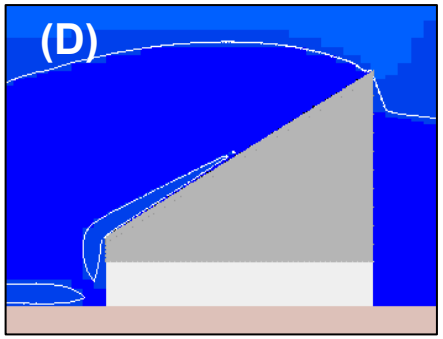
7.3 m²

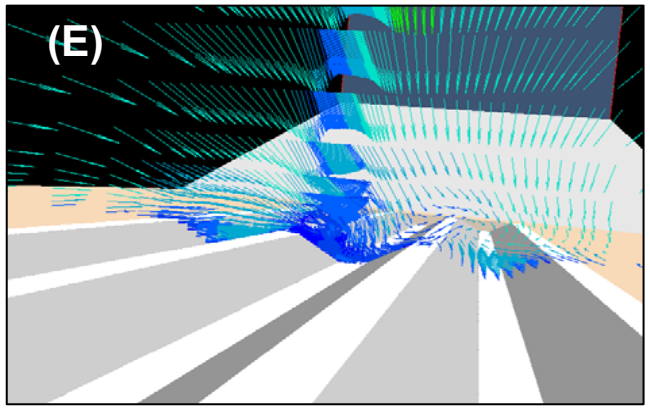
30 m²







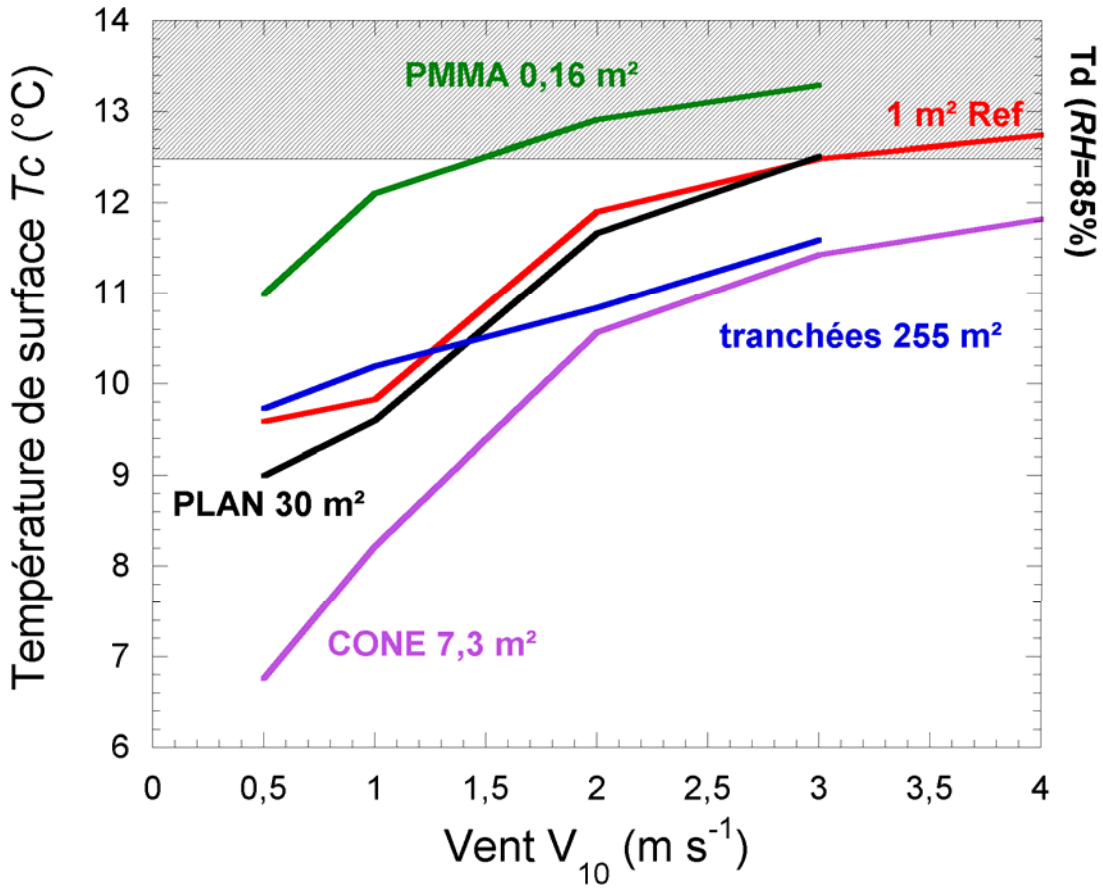




3 tranchées
255 m²

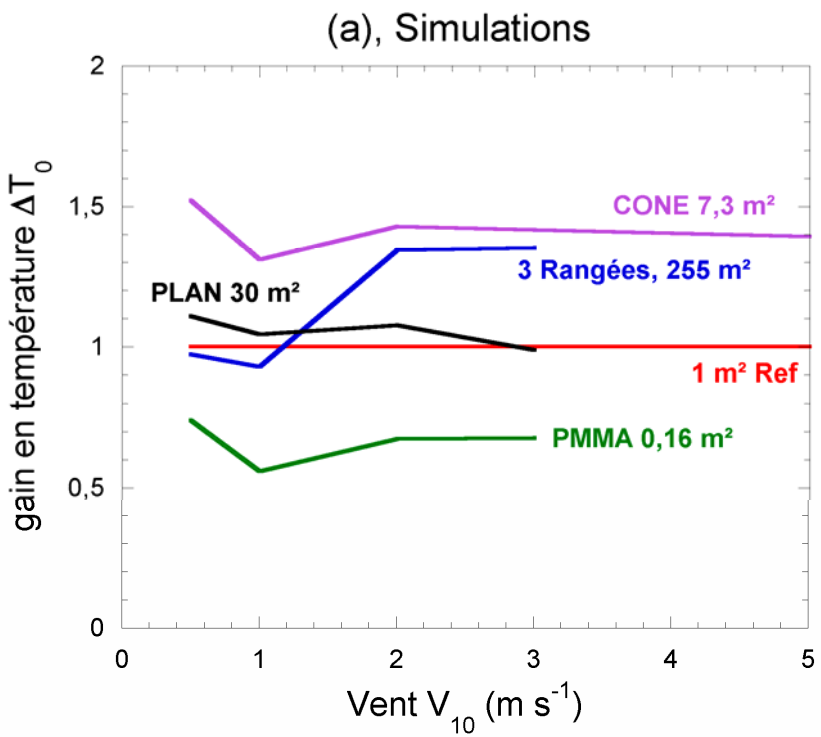
II.2. *Applications*

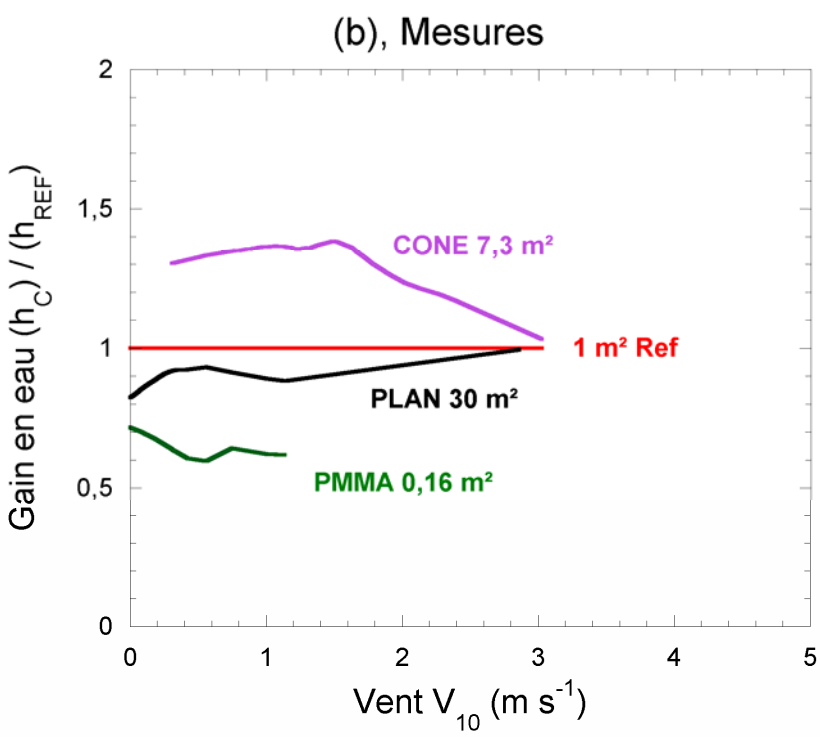
Temperatures de surface T_C



❖ T_C critère essentiel en simulation monophasique

II.3. *Gain en température / gain en eau*





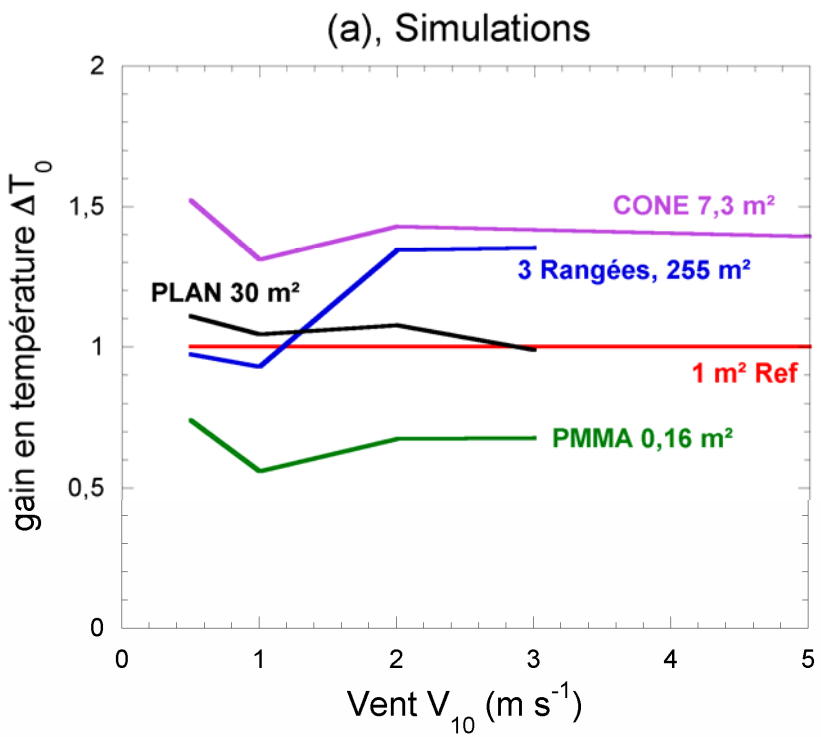
"gain en température" par rapport au condenseur REF 1 m² :

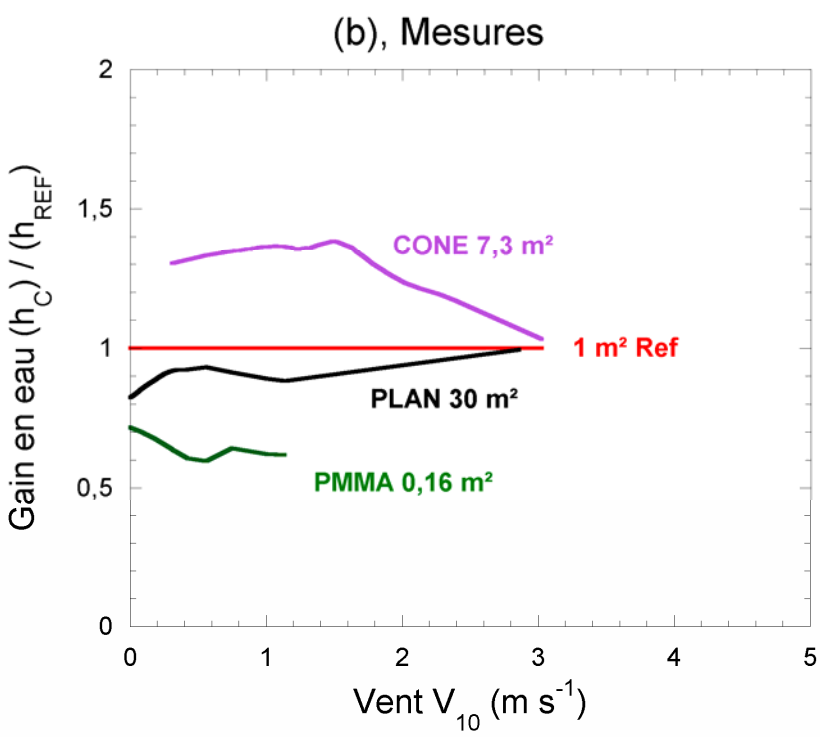
$$\Delta T_0 = \frac{T_{cond} - T_a}{T_{\mathrm{Re}f} - T_a}$$

"gain en eau" par rapport au condenseur de REF 1 m²

$$\Delta h_0 = \frac{h_{COND}}{h_{REF}}$$

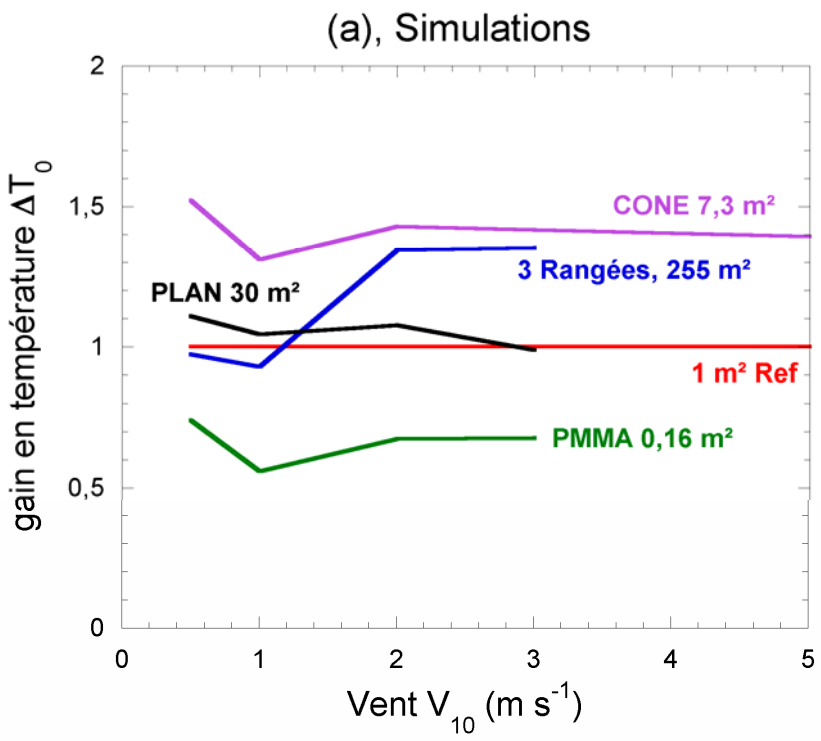
II.3. *Gain en température / gain en eau*

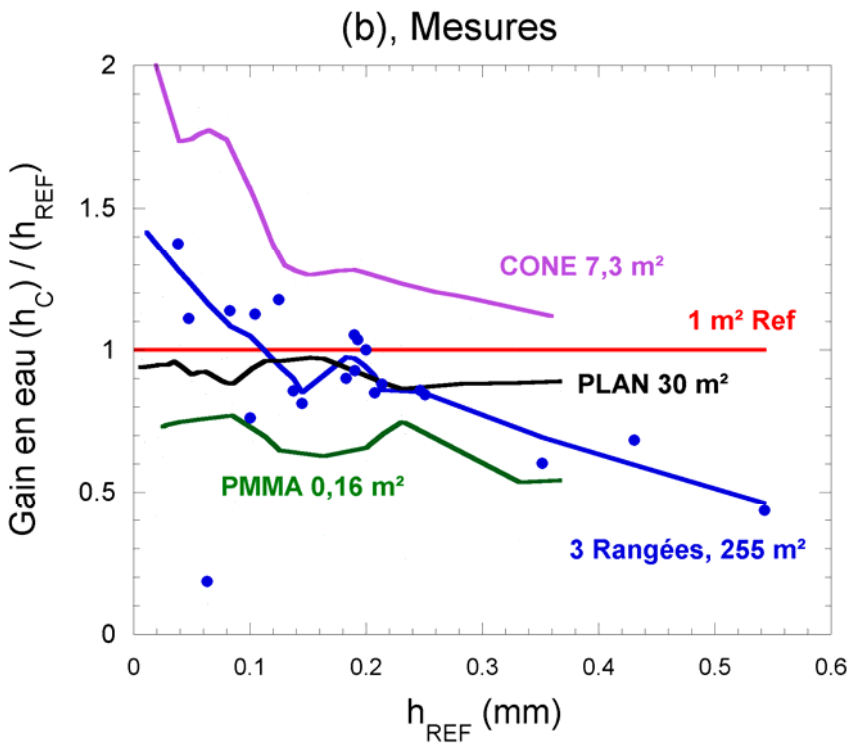




	1 m² incliné 30°	0.16 m² PMMA	30 m², incliné 30°	7.32 m² cone	3 tranchées 255 m²
$<\Delta T_0>$	1.00	0.65	1.05	1.40	1.15
$<h_c / h_{Ref}>$	1.00	0.68	0.91	1.38	0.81

II.3. *Gain en température / gain en eau*

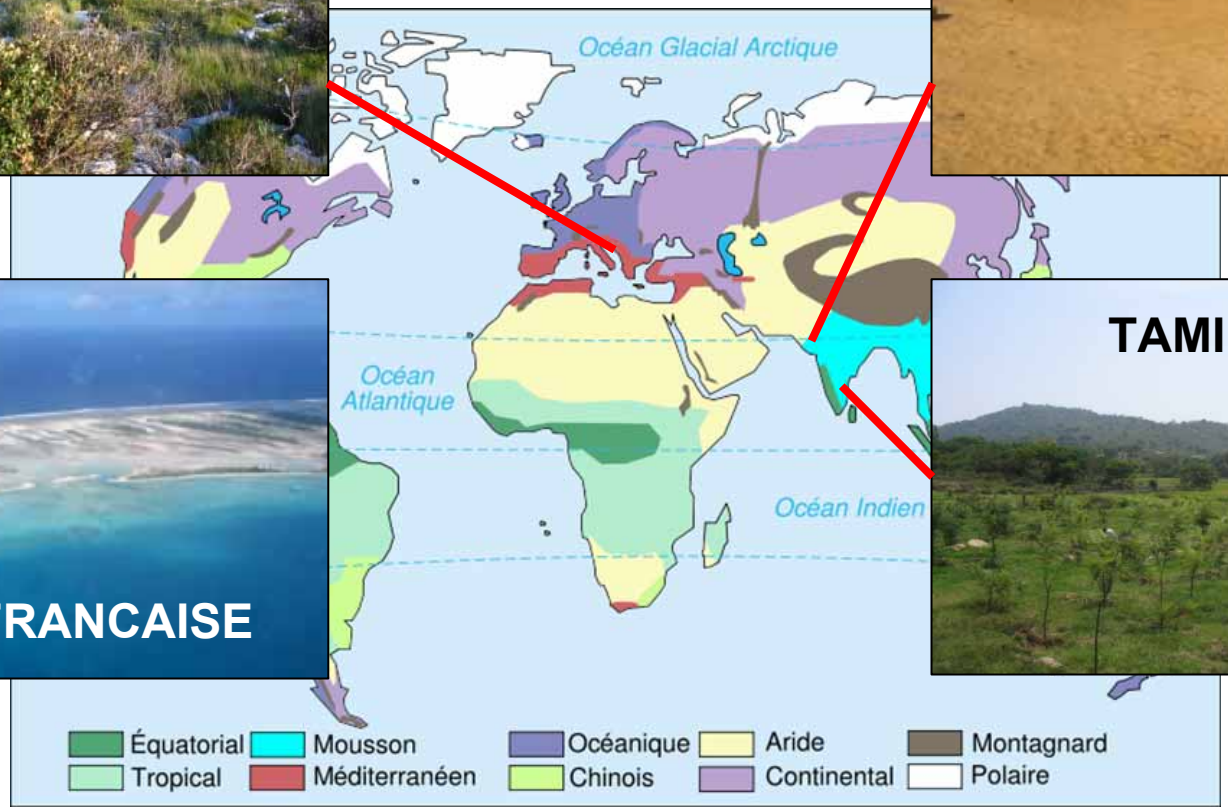




	1 m² incliné 30°	0.16 m² PMMA	30 m², incliné 30°	7.32 m² cone	3 tranchées 255 m²
<? T_0>	1.00	0.65	1.05	1.40	1.15
<h_c / h_{Ref} >	1.00	0.68	0.91	1.38	0.81

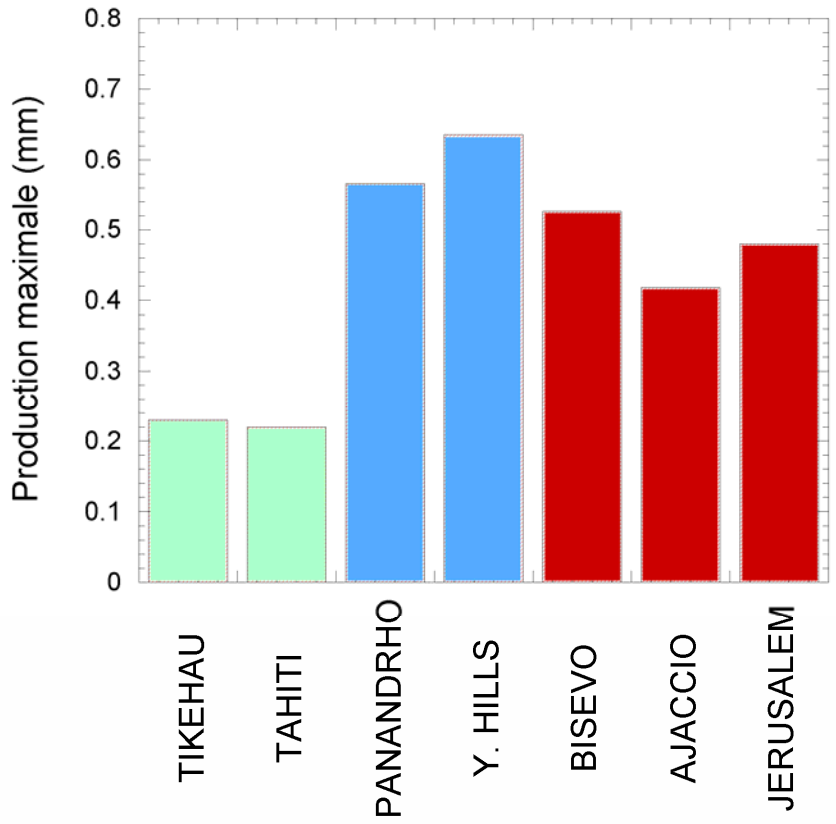
III. *Ressource*

Ressource pour différents climats

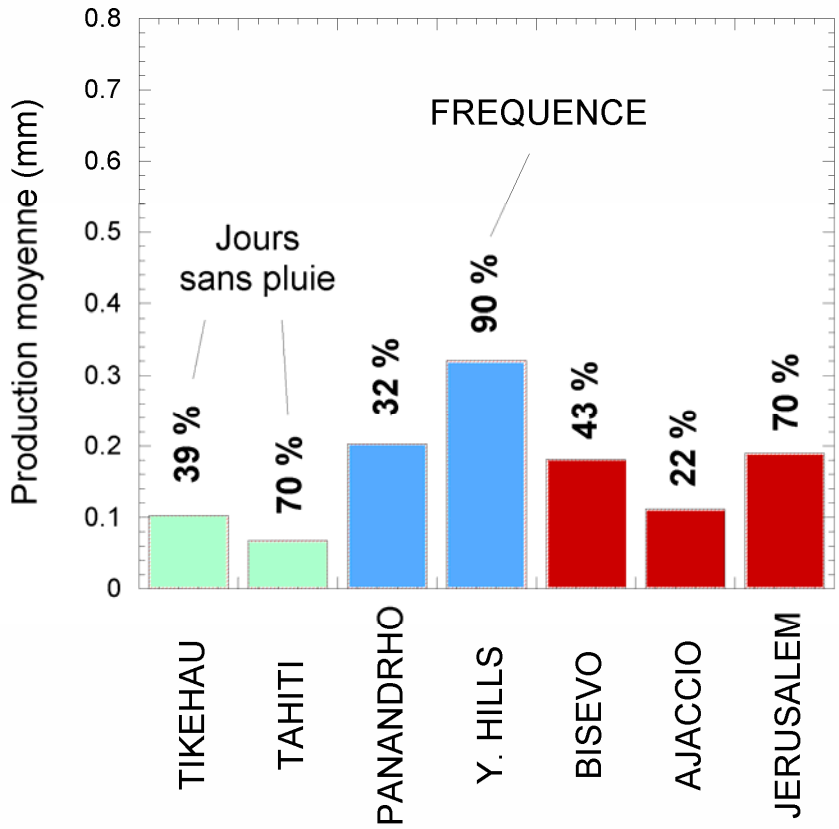


III.1. *Ressource*

Production MAX

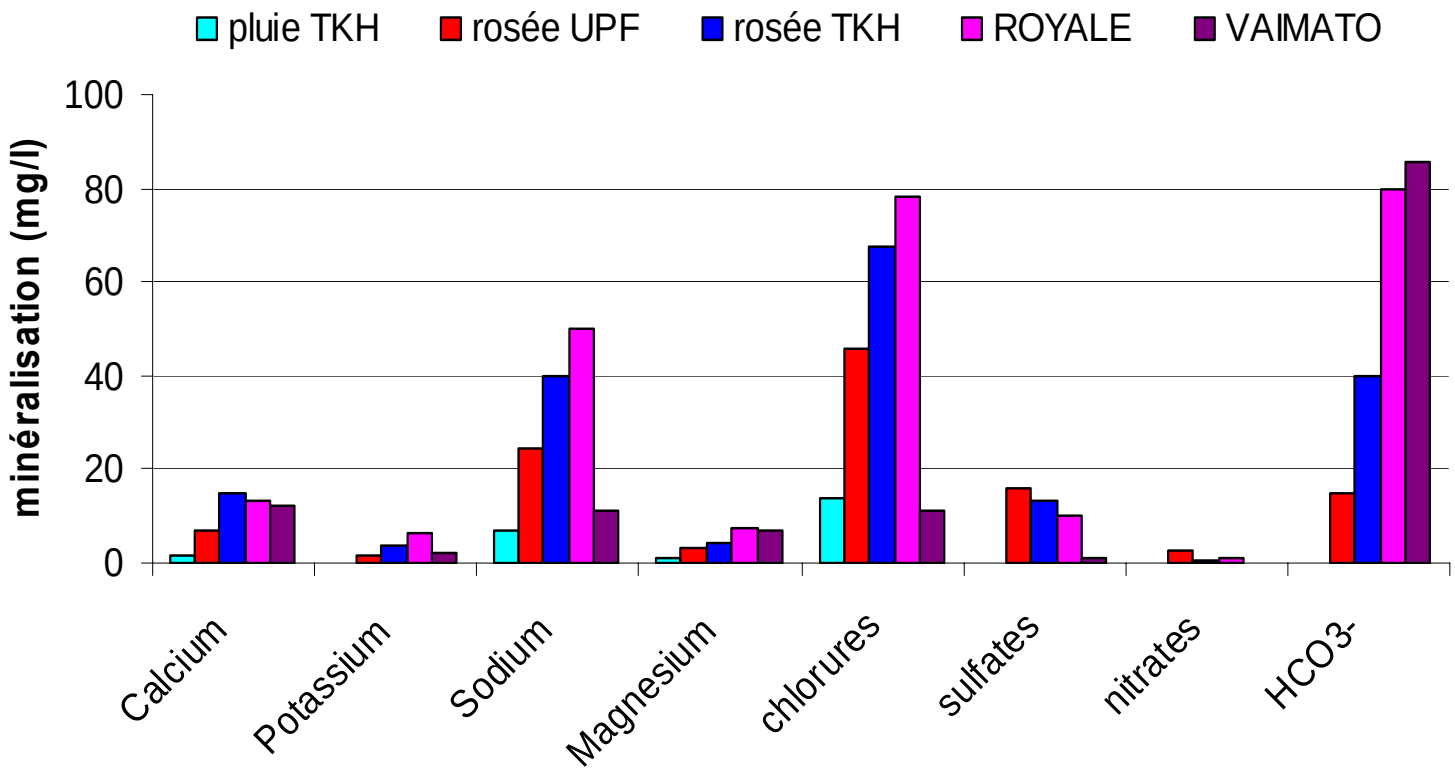


Production MOY



III.1. *Ressource*

Analyse qualitative des eaux de rosée et de pluie (chimie, bactériologie)

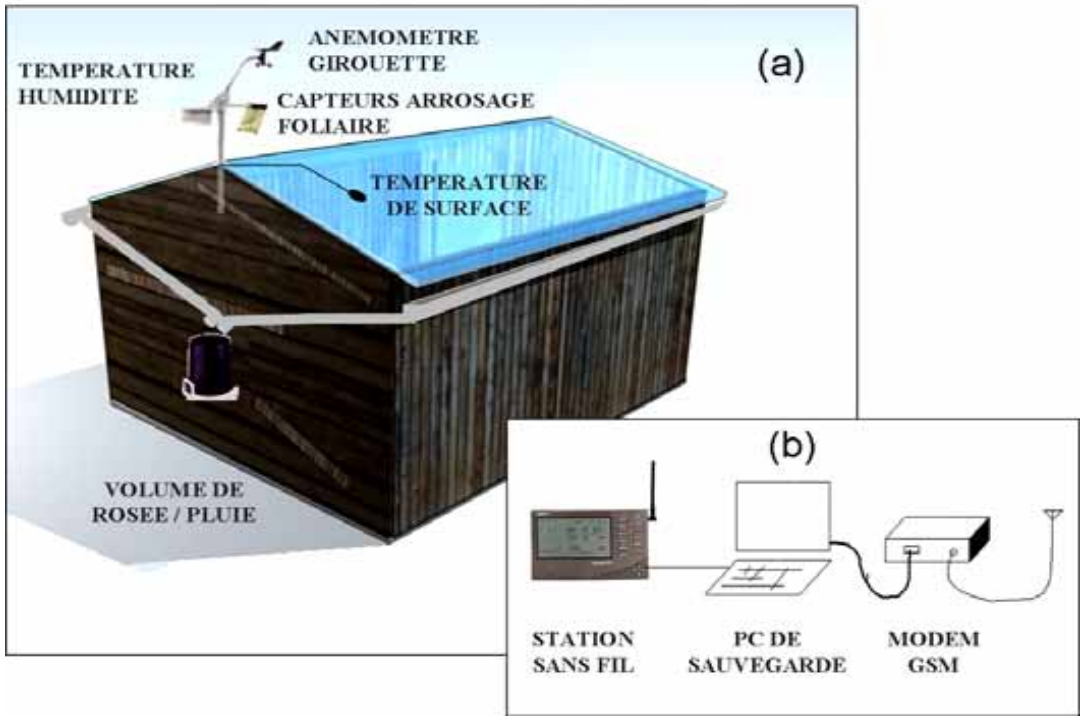


III.2. *Systèmes de mesure*

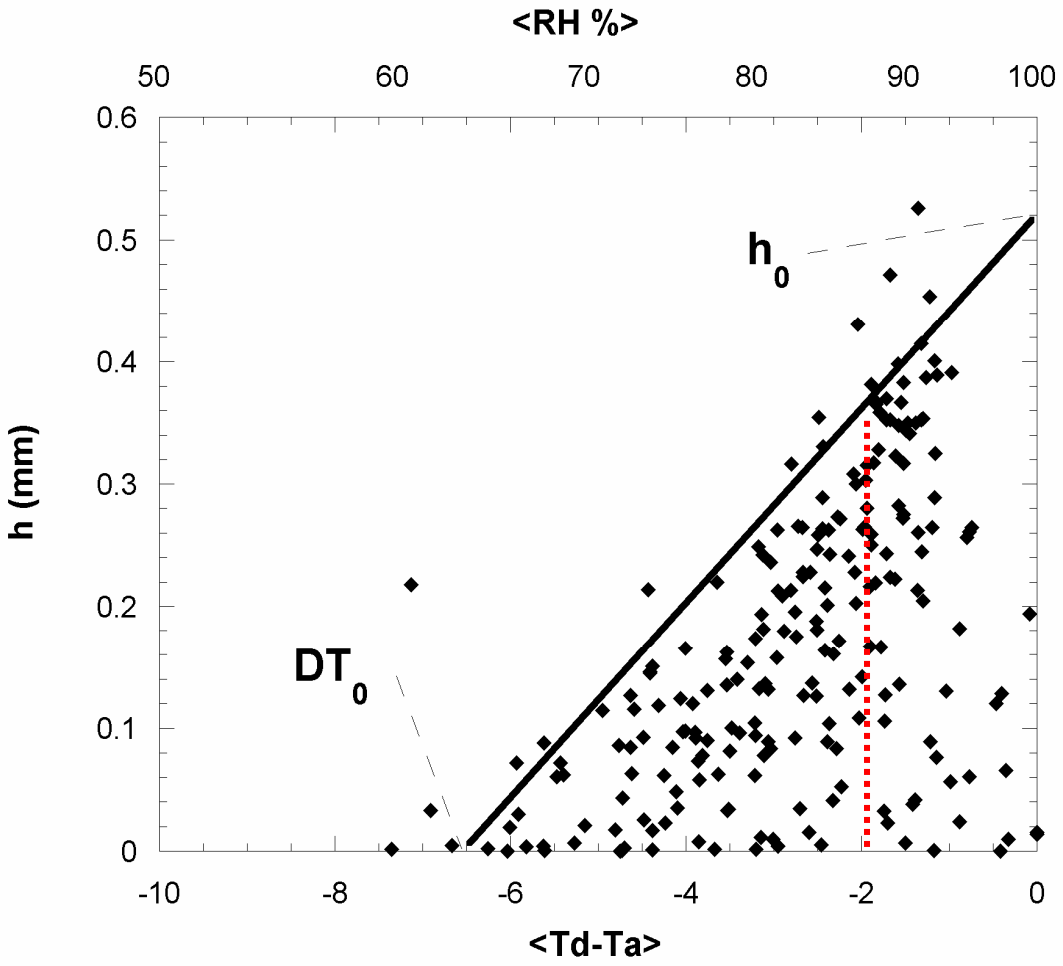
Peinture radiative sur tôle

Système de mesure autonome

- ❖ sauvegarde sur PC
- ❖ téléchargement et contrôle de l'expérience par modem GSM



III.3. *Modélisation par capteur AF*



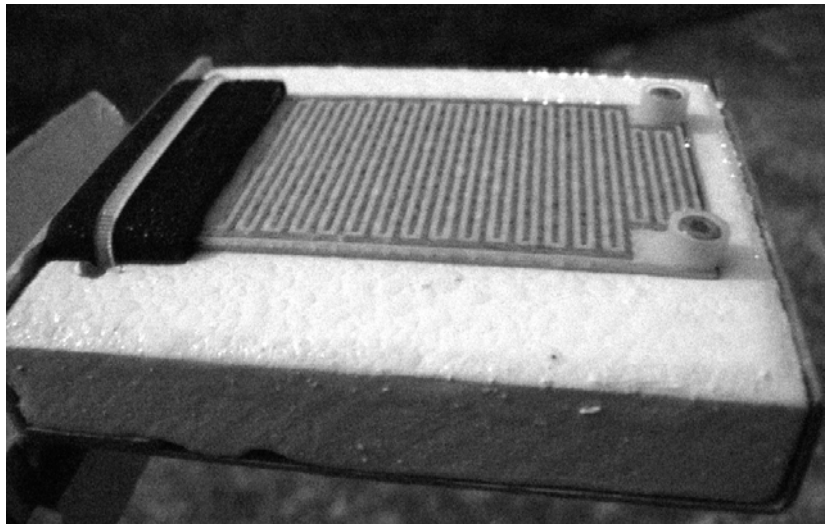
EQUATION DE L'ENVELOPPE

$$h_M = h_0\left(1 - \frac{T_d - T_a}{DT_0}\right)$$

HAUTEUR RELATIVE A L'ENVELOPPE

- *V, N, Dir,*

III.3. *Modélisation par capteur AF*

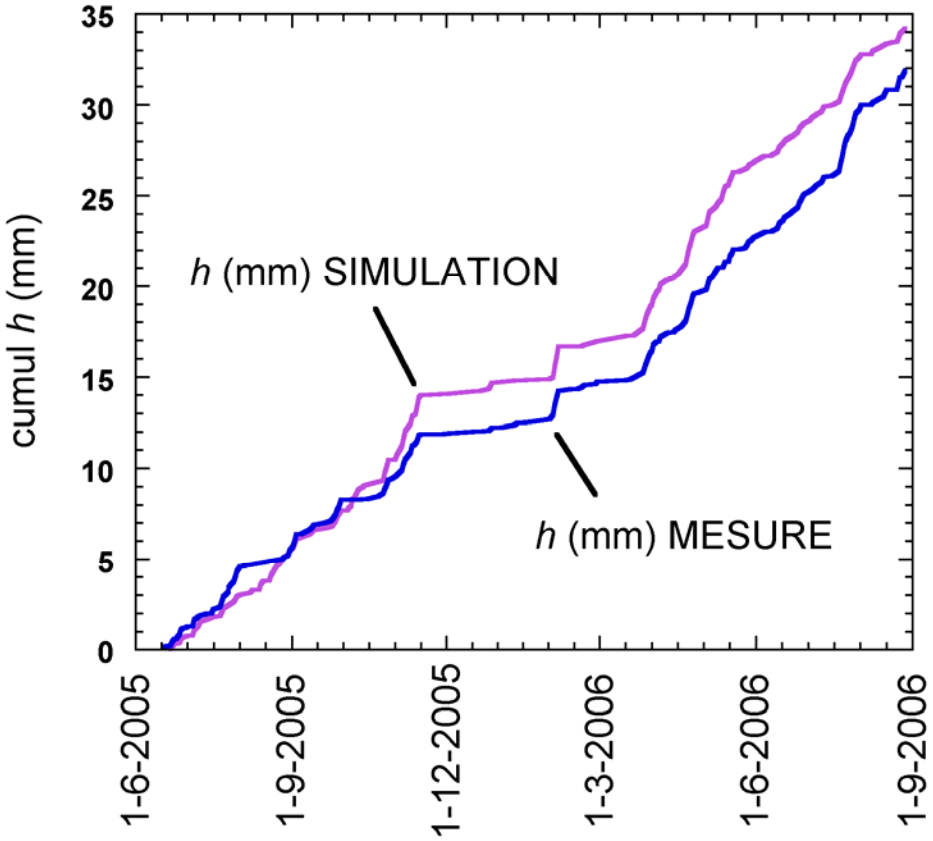


Capteur d'arrosage foliaire modifié et isolé

Indication binaire
Rosée / absence de rosée

$$h_i = h_0 \cdot f_F(V, Dir) \cdot AF_i \cdot \left(1 - \frac{T_{di} - T_{ai}}{DT_0}\right)$$

III.3. *Modélisation par capteur AF*



Saison sèche (mai – septembre)		
	Simulation	Mesure
rosée (cumul, mm)	20,2	19,2
Fiabilité à la mesure	105 %	100 %
Rosée Max. (mm)	0,414	0,472
Rosée moyenne (mm/événement)	0,165	0,167

IV. *Systèmes réels*

Toiture de démonstration sur l'île de Bisevo (15 m², Croatie)

Max 8 L / nuit

Usine à rosée (850 m², Gujarat, Inde)

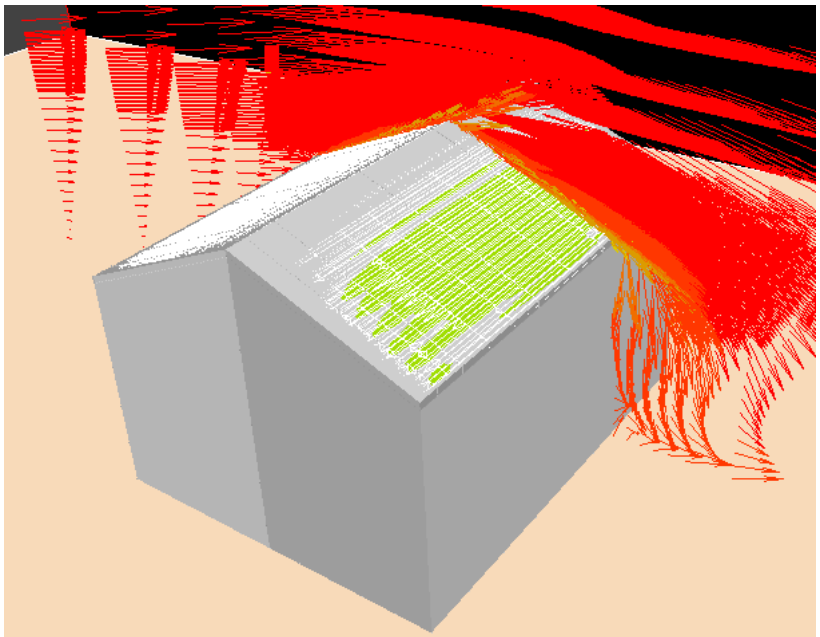
Max 300 L / nuit

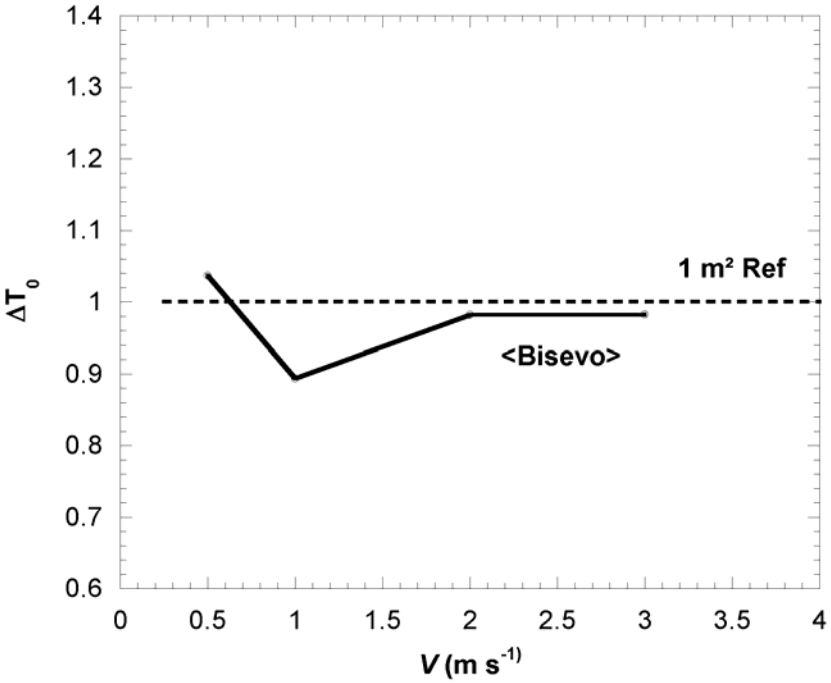
Embouteillement pour la consommation

IV.1. *Toiture*

Simulation préalable de la thermodynamique du système

Quels rendements attendre ?

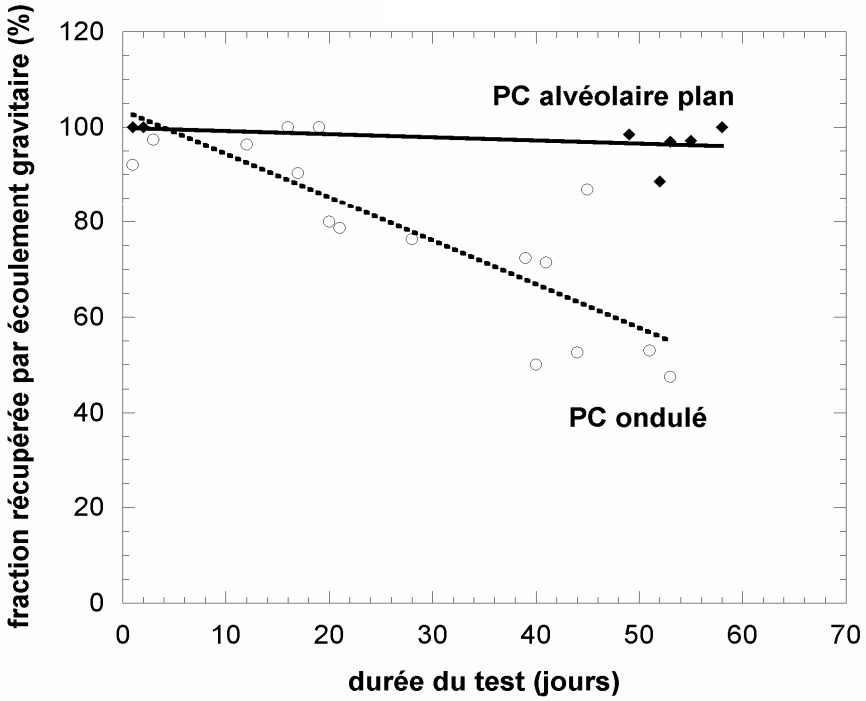




IV.1. *Toiture*

Choix du matériau : 13 matériaux commerciaux retenus

- spectrométrie ; état de surface ; installation
- Tests en extérieur des deux matériaux intéressants



IV.1. *Toiture*

INSTALLATION

IV.1. *Toiture*

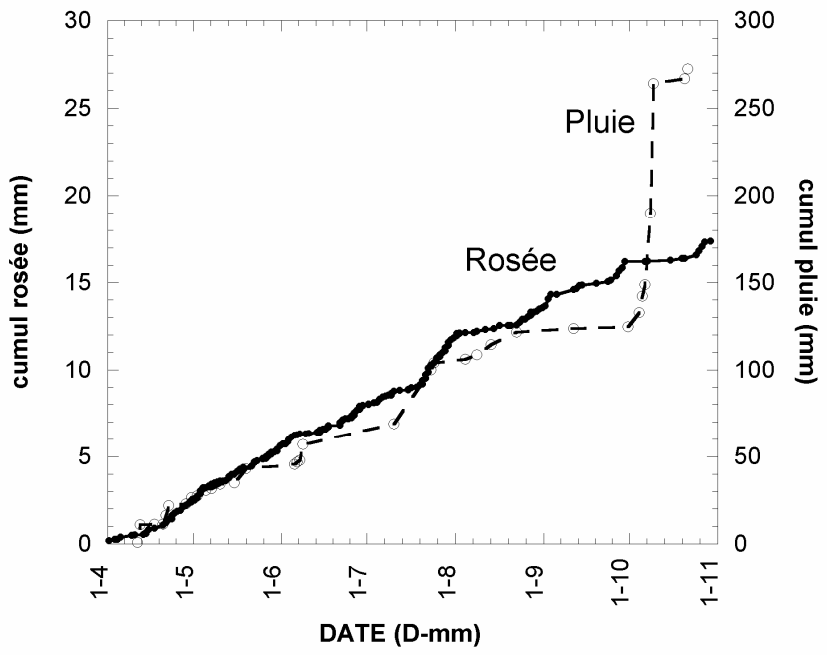
IV.1. *Toiture*

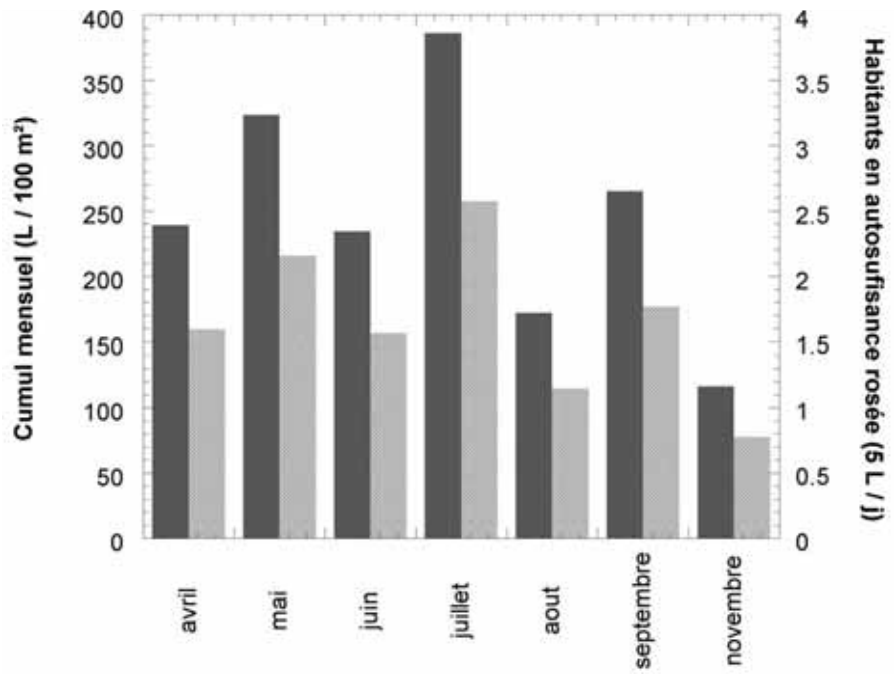
Saison sèche (avril-octobre)

Rosée = 10 % des précipitations

Pour une toiture de 100 m² :

Rosée suffit pour autonomie de 2 habitants (5 L / jour)





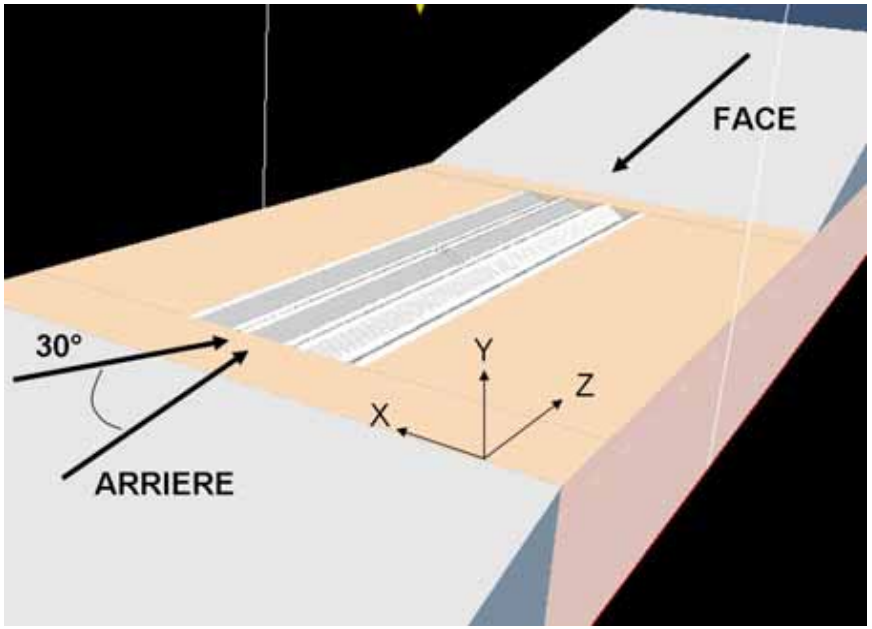
IV.2. *Usine*

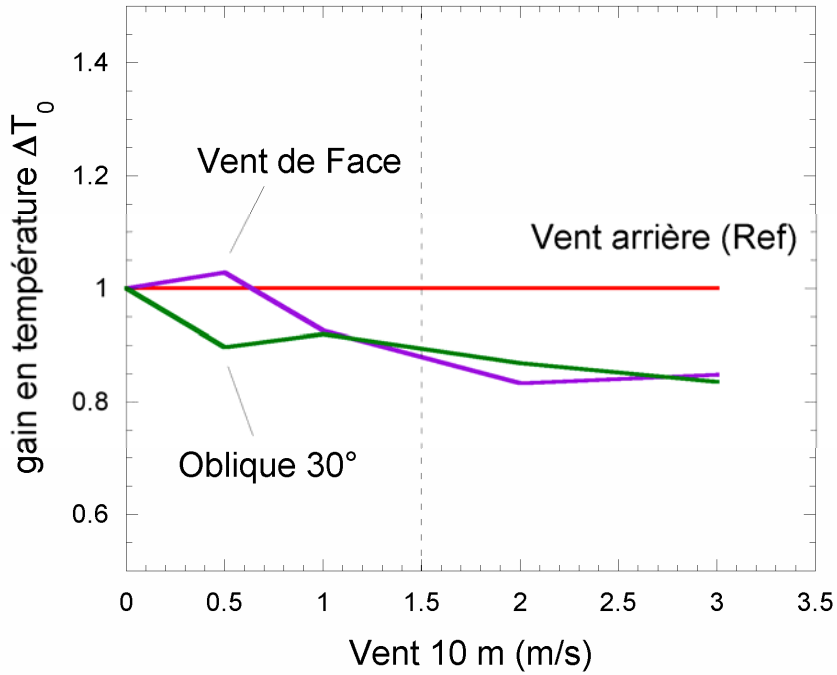
SITE (région du Kutch, Gujarat, Inde)

IV.2. *Usine*

Choix techniques déterminés par simulations numériques :

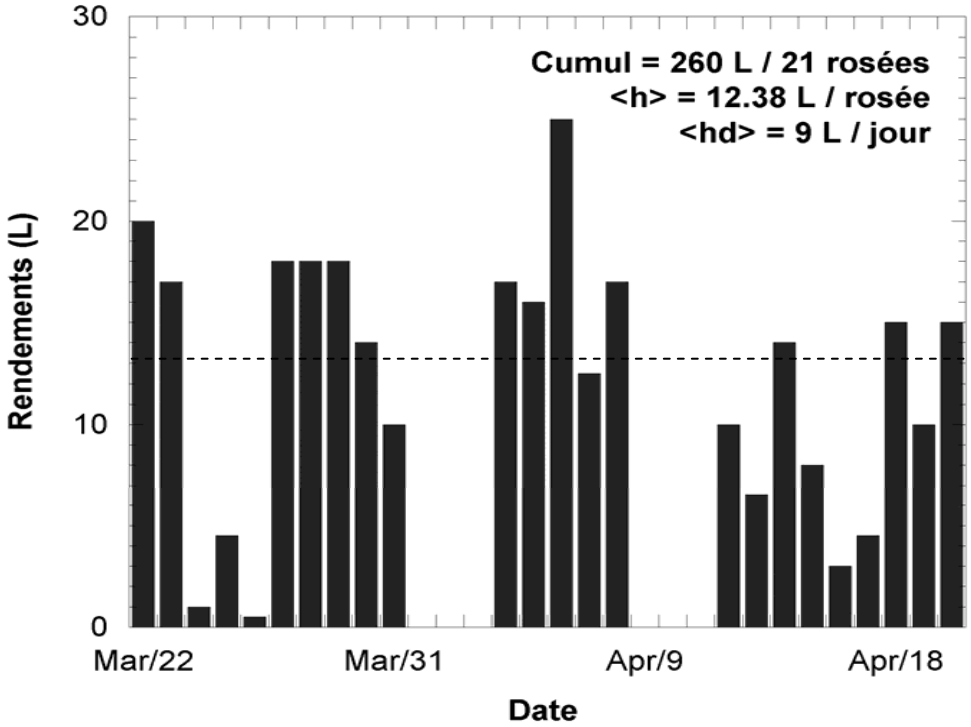
- Structure aérienne / condenseur au sol
- Orientation





IV.2. *Usine*

IV.2. *Usine*



Prix du système : 200 € par élément (10 000 rps)

Soit 1000 L au prix du marché par osmose inverse

1000 L produits en 225 jours ; durée de vie, 5 ans

Prix au litre 6 rps, abattement de 40 %

OBJECTIF : Passer des systèmes pilotes aux systèmes réels

EQUIPE : expertise unique dans l'exploitation toute récente de cette ressource

PERSONELLEMENT : savoir faire pratique et théorique

ph : G. Sharan