

ADEME - PUCA
Journée thématique
Enveloppe du Bâtiment

MURS SOLAIRES À ISOLATION RENFORCÉE

Bruno PEUPORTIER et Alain GUIAVARCH
ARMINES - École des Mines de Paris – CENERG

Bruno MARCONATO et Henri SACCHI
SOGEA CONSTRUCTION



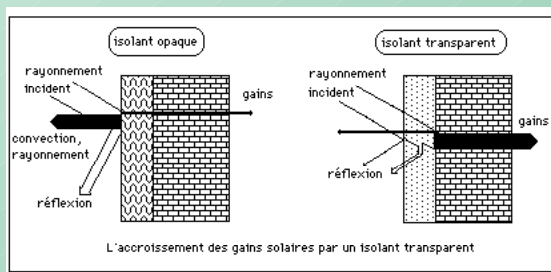
Objectifs de la recherche

- ▶ Réduire d'un facteur 4 les émissions de CO₂ des bâtiments à l'horizon 2050, renforcement progressif de la RT et amélioration des bâtiments existants
- ▶ Façades double peau comme alternative à l'isolation opaque, intéressant aussi en réhabilitation
- ▶ Evaluer la productivité thermique pour différentes typologies (avec et sans circulation d'air)
- ▶ Concevoir un composant optimisé
- ▶ Evaluer l'intérêt économique et environnemental du concept sur des cas types (logements collectifs, maison individuelle)



Evaluation du potentiel

- ▶ Une maison bien exposée en Ile de France reçoit, sur une saison de chauffe, un rayonnement solaire de l'ordre de 8 fois supérieur à ses besoins de chauffage (1,5 fois en décembre)
- ▶ Seulement 2 à 5% de l'énergie solaire reçue est valorisée actuellement
- ▶ Peut-on valoriser cette énergie plus efficacement ?
 - Utilisation de vitrages isolants ou d'isolants transparents
 - Stockage de l'énergie, relève des gains directs par les vitrages en soirée



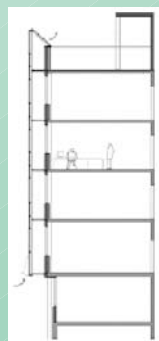
2

Typologie – Différents types d'intégration

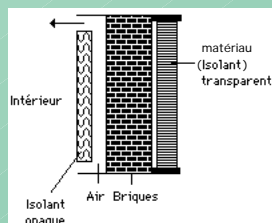
Allège de vitrage, préchauffage



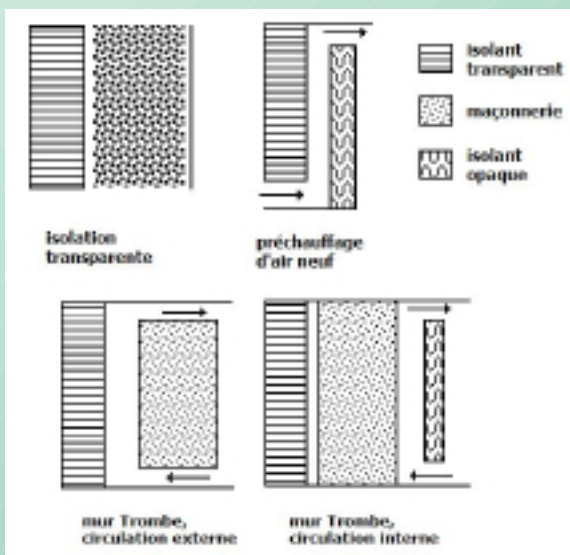
Double peau, ventilation



Mur Trombe, chauffage



Typologie : différents modes de circulation d'air

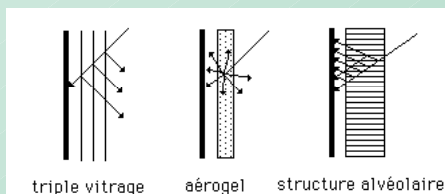


4

Différents phénomènes physiques couplés

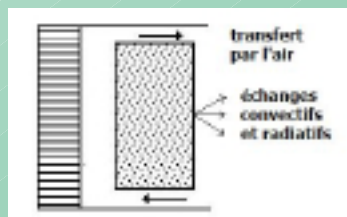
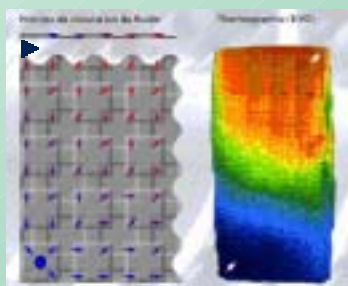
- Captage de chaleur : transmission

absorption : $\alpha = 0.96$, $\varepsilon = 0.05$



- transfert

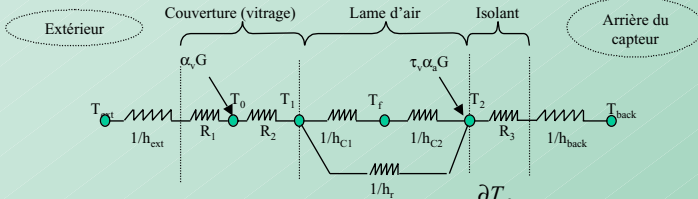
Stockage et distribution de chaleur



5

Modélisation – Solaire thermique à air

► Modèle de capteur à air


$$\text{Transfert convectif entre le capteur et l'air en mouvement : } n \frac{\partial T_f}{\partial x'} = h_{c1} A_1 (T_1 - T_f) + h_{c2} A_2 (T_2 - T_f) \quad (1)$$

avec \dot{m}_a : débit massique de l'air dans le capteur (kg/s),
 T_f : température moyenne de l'air (K)
 C_p : chaleur spécifique de l'air (J/kg/K),
 $x' = x/L$: position (relative) par rapport à l'axe principal (parallèle au sens d'écoulement du fluide)
 A_1 , (resp. A_2): surface de la couverture (resp. de l'absorbeur).

Bilan des flux thermiques aux trois nœuds de température T_0 , T_1 et T_2 : $h_{c1}A_1(T_1 - T_f) = h_{fa}A_1(T'_{sol} - T_f)$

$$h_{c2}A_2(T_2 - T_f) = h_{jR}A_2(T'_R - T_f) \quad (2)$$

avec $T'_{\text{sol}} = \text{fonction}(T_{\text{ext}}; G, h_{\text{ext}}, h_r, \alpha_v, \dots)$

$$T'_R = \text{fonction } (T_{\text{back}}, h_{\text{back}}, h_r, \tau_v, \alpha_a, \dots)$$
$$h_{fa} = \text{fonction } (h_{c1}, h_{ext}, \dots)$$
$$h_{fr} = \text{fonction } (h_{c2}, h_{back}, \dots)$$

$$\Rightarrow m C_p \frac{\partial T_f}{\partial x'} = h_{fA} A_1 (T'_{sol} - T_f) + h_{fR} A_2 (T'_R - T_f)$$

6

Modélisation – calcul du débit d'air

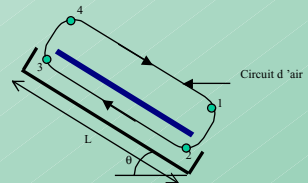
► Convection naturelle

- Etude bibliographique (Brinkworth, Hypri...)
- Modèle

- Conservation de la quantité de mouvement

(régime stationnaire) :

$$gL \sin(\theta) \Delta \rho = \frac{1}{2} K_{f1} \rho_2 U_2^2 + \frac{1}{2} K_{f3} \rho_3 U_3^2 + \frac{1}{2} f \frac{L}{D_h} \rho_m U^2$$



avec $\Delta\rho=\rho_0-\rho_m$

U : vitesse moyenne de l'air dans le capteur,

U_2 (resp. U_3) : vitesse moyenne de l'air à l'entrée (resp. à la sortie) du capteur,

L : longueur du capteur,

w : largeur du capteur,

d : épaisseur de la lame d'air,

D_h : diamètre hydraulique du conduit,
 θ : inclinaison du capteur par rapport à l'horizontal,

f : coefficient de frottement dans la lame d'air,

ρ_0 : densité de l'air à l'extérieur,

ρ_m : densité moyenne de l'air dans le capteur,

ρ_2 (resp. ρ_3) : densité de l'air à l'entrée (resp. à la sortie) du capteur,

K_{f1}, K_{f3} : coefficients de perte de charge à l'entrée et à la sortie du capteur,

g : accélération universelle (m/s²).

7

Modélisation – Calcul du débit d'air

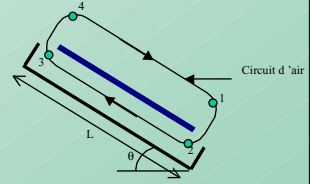
► Convection naturelle

- Conservation de la masse :

$$U = \frac{\dot{m}}{wd\rho_m}, \quad U_2 = \frac{\dot{m}}{wd\rho_2} \quad \text{et} \quad U_3 = \frac{\dot{m}}{wd\rho_3}$$

$$\text{et } \rho_2 \equiv \rho_3 \equiv \rho_m \equiv \rho_0$$

$$\Rightarrow \dot{m} \left[K_{f1} + K_{f2} + f \frac{L}{D} \right] = \frac{2\delta_s P_{TH} (\rho_0 wd)^2 g L \beta \sin(\theta)}{C_p}$$



- Si écoulement laminaire :

$$f = f_0 + \frac{f_1}{\left(\frac{L}{D_h}\right)} + \frac{f_2}{Re^n}$$

$$Re = UD_h / \nu$$

$$\Rightarrow A\dot{m}^3 + B\dot{m}^2 + C\dot{m} + D = 0$$

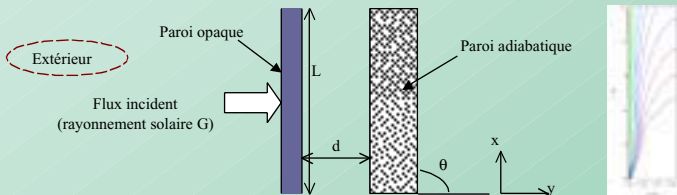
► Couplage débit / transfert convectif



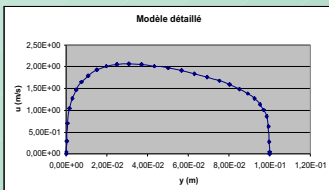
8

Modélisation – Ecoulement d'air

► Validation : comparaison avec outil de type CFD ('EtuCo' – LEEVAM, Univ. Cergy)



- Ecoulement turbulent



Paramètres

Paramètre	Unité	Valeur	Unité	Valeur	Unité	Valeur	Unité	Valeur
Longueur	m	0.01	Angle	deg	15	Température	K	300
Pression	Pa	101325	Viscosité	Pa.s	1.8E-05	Densité	kg/m³	1.2

Résultats

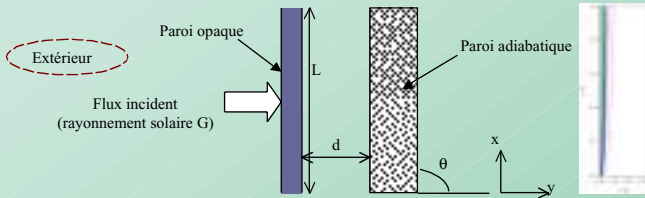
	K ₂ CO ₃	Méthode	Result
Wasser ausserhalb (°C/min)	1.05	1.40	14.5%
W ₂ (g)	21.8	18.2	13.3%
Pro (g)	4.408	3.803	25.5%
Pro (W ₂ /g)	4.47	3.96	21.9%
Kombi von Gesamt (g)	10.014	10.000	14.5%



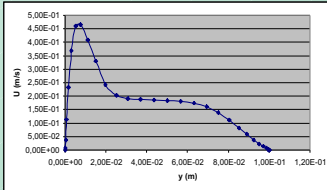
9

Modélisation – Ecoulement d'air

► Validation : comparaison avec outil de type CFD ('EtuCo' – LEEVAM, Univ. Cergy)



■ Ecoulement laminaire



Paramètres							
Paramètre	L	d	u ₀	Re _{entr}	Re _{crit}	Pr	T _{ref}
Valeur	0.1	0.01	0.1	1000	2300	0.7	293

Résultats		
Paramètre	Modèle	Expérience
Re _{entr}	1000	1000
Re _{crit}	2300	2300
Pr	0.7	0.7
T _{ref}	293	293

- Si la valeur du coefficient d'échange convectif calculée par les corrélations est remplacée par la valeur calculée avec le modèle 'EtuCo', l'écart sur la puissance thermique passe de 64 % à 25 %.

10

Modélisation - Bâtiment et système solaire

► Modèle thermique de bâtiment

- Modèle aux différences finies réduit par analyse modale
- Découpage en zone thermique
- Modèle dynamique, prise en compte de l'inertie
- Conception bioclimatique (assurer un niveau de confort tout en minimisant les besoins énergétiques, en prenant en compte le climat)
- Solaire passif (véranda, vitrage, protection solaire...)

► Développement logiciel : outil de simulation 'COMFIE' (CENERG)

Structure de données :



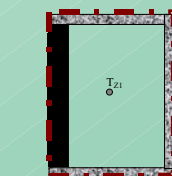
► Couplage composant solaire / bâtiment

► Enveloppe du bâtiment et composant solaire

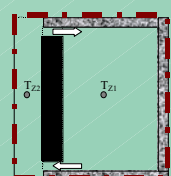
- Exemple : capteur à air

Légende :

- : absorbeur
- : couverture
- : isolant
- : mouvement d'air
- : parois du bâtiment
- : enveloppe du bâtiment



(a) Bâtiment mono-zone



(b) Bâtiment mono-zone + capteur à air

11

Modélisation d'une paroi selon son inertie thermique

- Si $I > 25 \text{ Wh/K/m}^2$, n mailles, raison géométrique r



e, e x r, e x r² e x rⁿ⁻¹

- Pour les parois légères, 1 maille
- 1 maille également du côté extérieur à un isolant

12

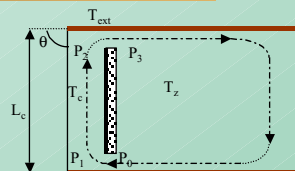
Couplage systèmes solaires et bâtiment

■ Capteur hybride :

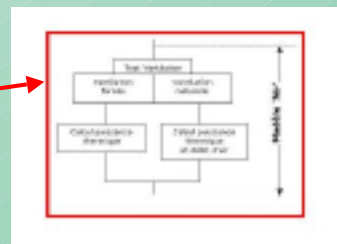
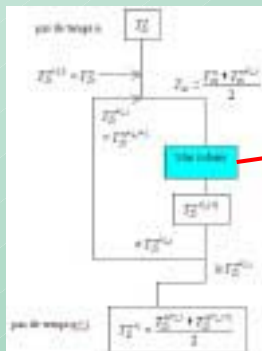
- Convection naturelle

Légende :

- : enveloppe du bâtiment
- : couverture du capteur à air
- : absorbeur du capteur à air
- : circuit d'air
- : isolant



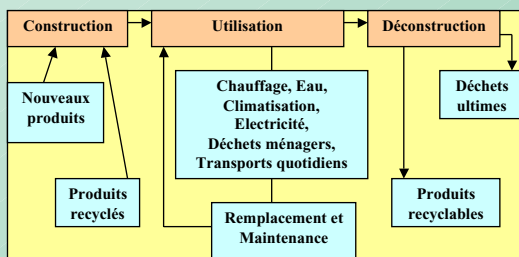
Chauffage d'air



13

Aspect environnemental – ACV du bâtiment

► Outil de simulation de cycle de vie de bâtiment : EQUER



► Intégration de composants solaires

■ Collecte de base de données

- vitrages
- polycarbonate



14

Etudes paramétriques, optimisation

► Type de vitrage, transmission selon l'angle d'incidence

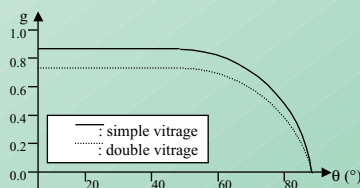


Figure 5.1 : facteur solaire en fonction de l'angle d'incidence.

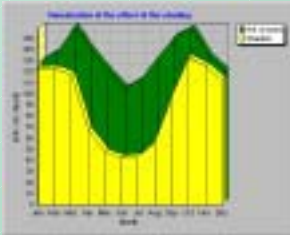
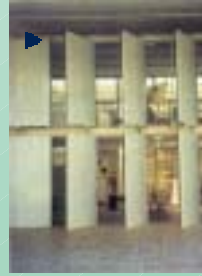
- Maçonnerie, standards actuels (béton ou parpaings)
- Orientation et surface du mur
- Type d'enduit (propriétés optiques)



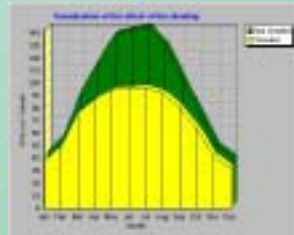
15

Protection contre les surchauffes d'été

- Blocage de la circulation d'air et isolation
- Ventilation naturelle du mur solaire
- Protections solaires
- Masques architecturaux



Façade sud

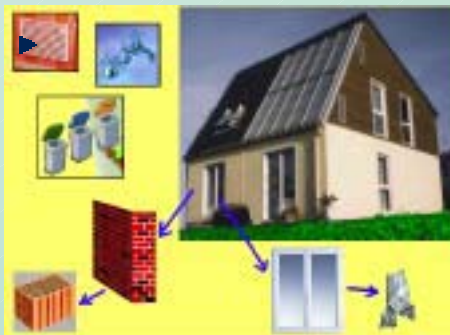


Façade ouest



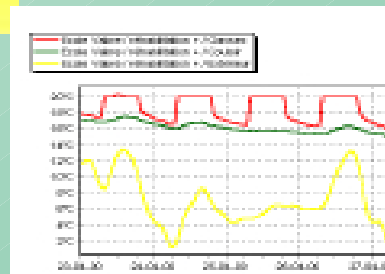
16

COMFIE (simulation thermique) www.izuba.fr



Besoins de chauffage et de climatisation

Profils de température

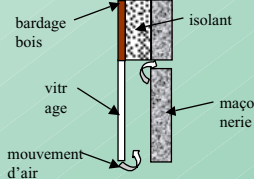
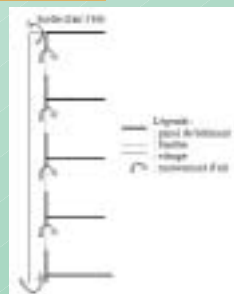


17

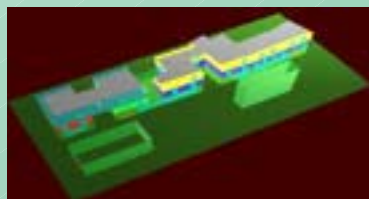
Application – Cas d'étude

Immeuble HLM de 52 logements

Maison individuelle



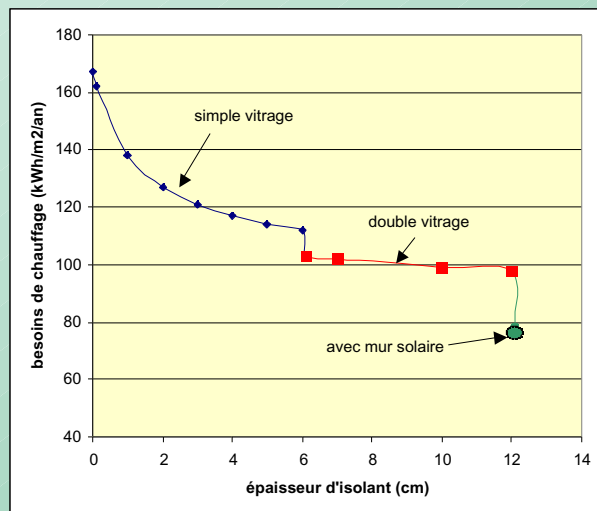
Bâtiment résidentiel



18

Résultats de l'analyse thermique

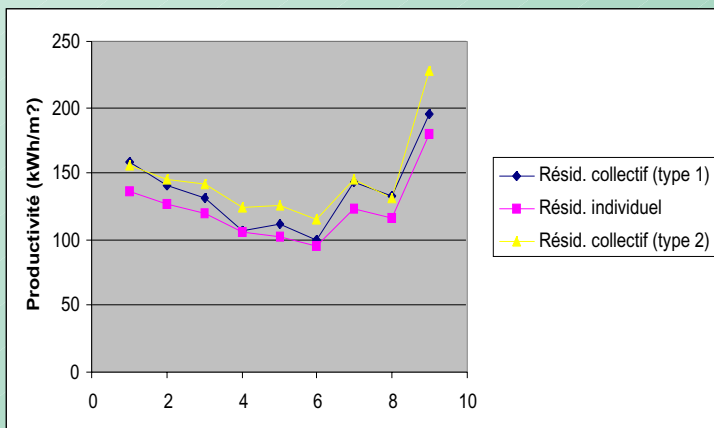
Immeuble HLM, réduction des besoins de chauffage



19

Résultats – Cas d'étude

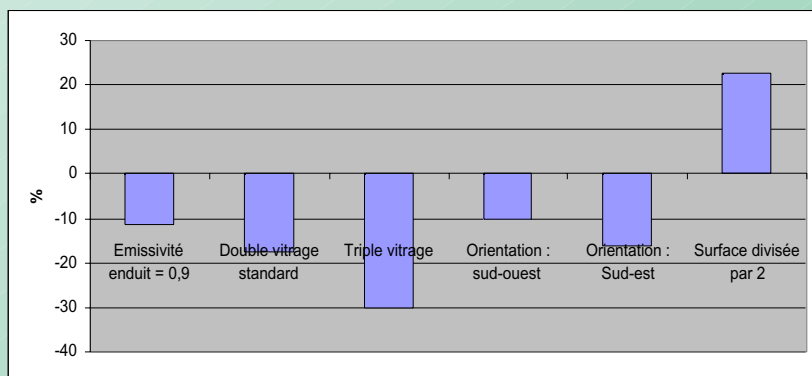
- **Productivité, réduction des besoins de chauffage en kWh par m2 et par an**



20

Variations paramétriques – Cas d'étude

- **Variation de la productivité en fonction des différents paramètres (base = 160 kWh/m2/an)**



21

Conclusions

- ▶ **Modélisation de systèmes solaires intégrés au bâtiment**
 - Couplage des différents transferts thermiques
 - Couplage mur solaire / bâtiment
- ▶ **Collecte de données sur les impacts environnementaux**
- ▶ **Implémentation dans un ensemble logiciel**
 - Outil de simulation pour professionnel du bâtiment
- ▶ **Application sur 3 cas d'étude**
 - Simulation thermique des bâtiments intégrant des murs solaires
 - Optimisation du composant
- ▶ **Modèle de connaissance permettant de connaître l'intérêt environnemental de différents murs solaires**
- ▶ **Perspectives : optimisation et bilan technico-économique**

