

**Journée thématique SFT- IBPSA, Chambéry, mars 2006**

**Efficacité énergétique des bâtiments  
Vers des bâtiments autonomes en énergie**

**Des éco-techniques  
à l'éco-conception des bâtiments**

**Bruno PEUPORTIER  
École des Mines de Paris – CEP**



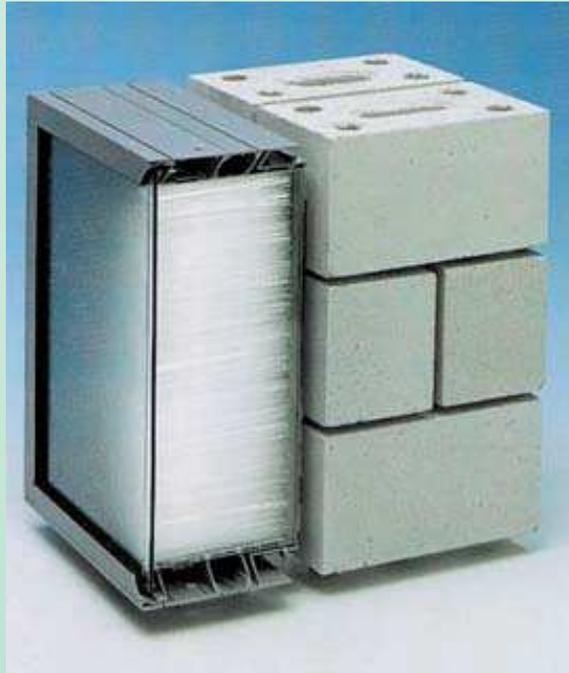
# Définitions

- ▶ **Éco-techniques** : techniques réduisant les impacts environnementaux, en particulier la consommation d'énergie
- ▶ **Exemples** : isolation, capteurs solaires thermiques et photovoltaïques, éclairage naturel, échangeurs air-sol...
- ▶ **Éco-conception** : intégration des aspects environnementaux dans la conception
- ▶ **Niveau composants et niveau bâtiment, quartier...**
- ▶ **Bilans énergétiques et bilans environnementaux**
- ▶ **Évaluation et aide à la conception**

## Quelques travaux effectués au CEP

- ▶ Isolation transparente et murs solaires (Trombe)
- ▶ Préchauffage d'air neuf, vérandas et balcons vitrés
- ▶ Eau chaude sanitaire solaire
- ▶ Eclairage naturel
- ▶ Systèmes photovoltaïques, éventuellement hybrides (valorisation thermique par l'air)
- ▶ Echangeurs air / sol (« puits canadiens »)
- ▶ Chaînage des modèles -> bilan énergétique
- ▶ Chaînage avec l'ACV et extension aux quartiers

# Isolation transparente

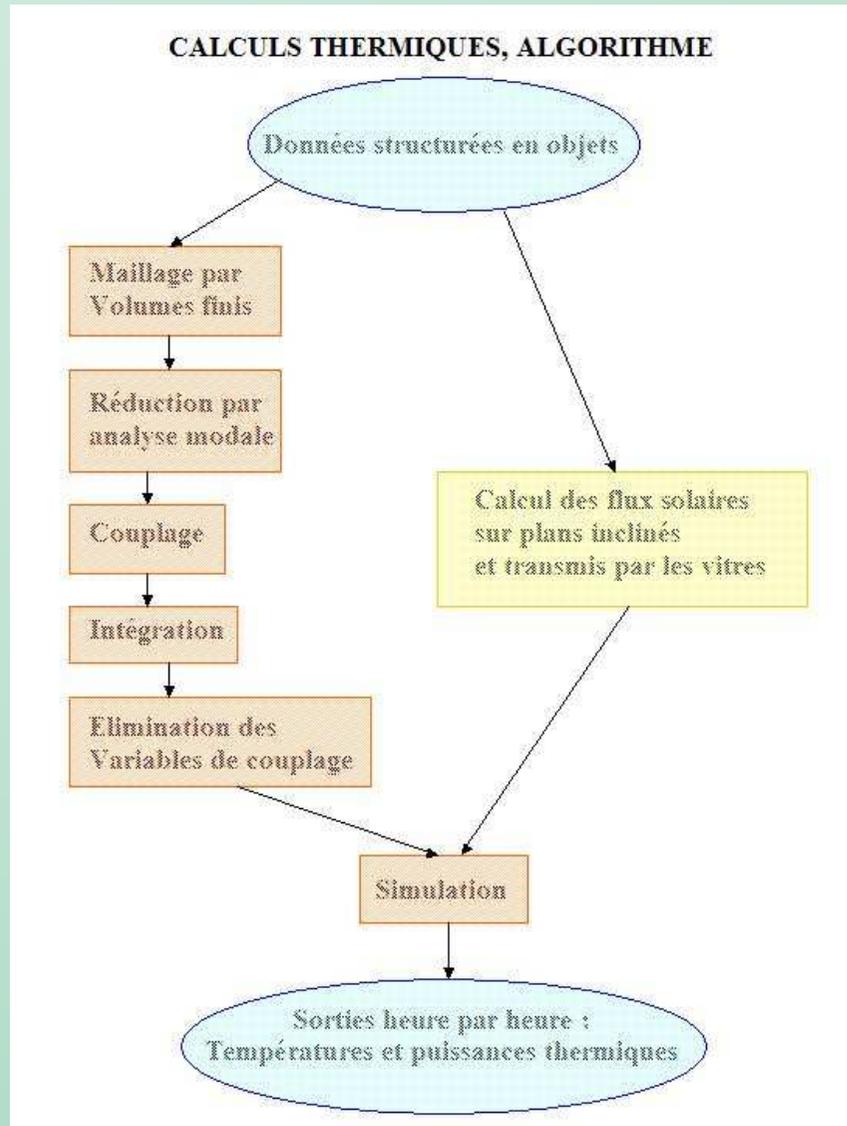


*Architecte : Jacques Michel*

**Lotissement HLM  
à Mouzon (Ardennes)  
fraction solaire 35%  
60 kWh/m<sup>2</sup>/an (1992)  
Simulation dynamique  
Logiciel COMFIE**



# Algorithme, volumes finis et réduction modale



$$C \cdot dT / dt = A \cdot T + E \cdot U$$

$$Y = J \cdot T + G \cdot U$$

$$T = T_0 - A^{-1} \cdot E \cdot U$$

( $T_0$  = partie dynamique)

$$dT_0/dt = C^{-1} \cdot A \cdot T_0 + A^{-1} \cdot E \cdot dU/dt$$

$$Y = J \cdot T_0 + (G - J \cdot A^{-1} \cdot E) \cdot U$$

Plusieurs thèses

## Préchauffage d'air (vérandas, belcons vitrés)



**Réhabilitation à Montreuil (93)  
1969, réhabilité en 2002  
160 -> 80 kWh/m<sup>2</sup>/an  
Isolation extérieure  
Vitrages basse émissivité +  
argon**

# Projet européen SOLANOVA, Hongrie, 2005



**Ventilation double flux**  
**Traitement des ponts thermiques**  
**Objectifs : 30 kWh/m<sup>2</sup>/an**  
**35 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/an**



# Eau chaude sanitaire solaire



**Architecte :  
Jérôme Brullé  
M'ARCHE  
2005**

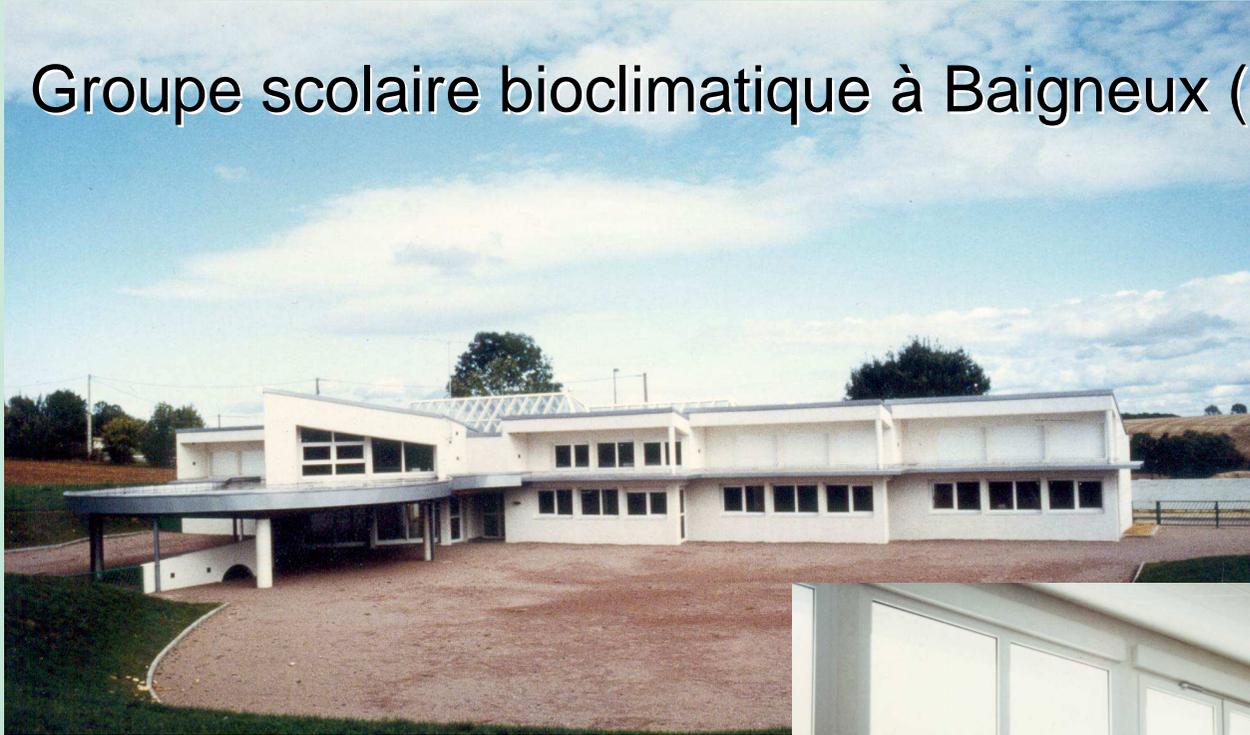
**Projet européen  
Eco-housing**

**Immeuble HLM à Montreuil (93)  
Besoins de chauffage : 50 kWh/m<sup>2</sup>/an, 30 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/an  
84 m<sup>2</sup> de capteurs solaires, 42 appartements**



# Eclairage naturel

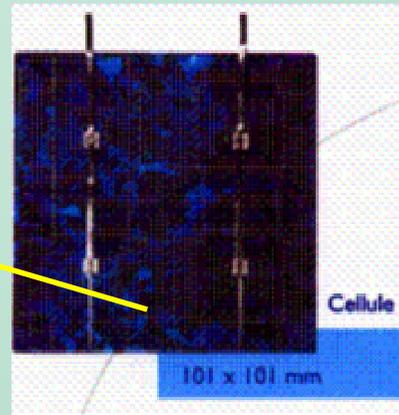
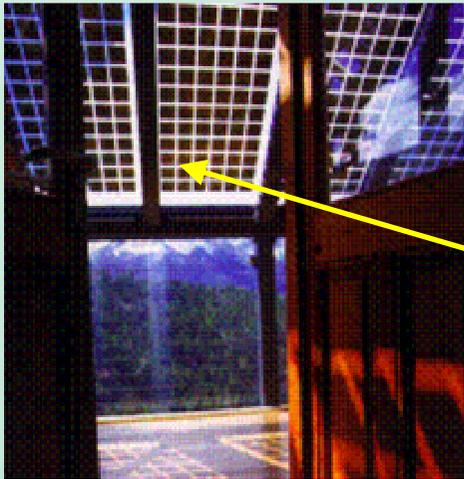
## Groupe scolaire bioclimatique à Baigneux (1995)



*Architecte : Jean Bouillot*  
*Besoins de chauffage :*  
*50 kWh/m<sup>2</sup>/an*  
*Calcul éclairage naturel*  
*et artificiel (LUMEN)*



# Photovoltaïque intégré aux bâtiments



Production d'électricité en fonction de la température

Captage, stockage et distribution de chaleur

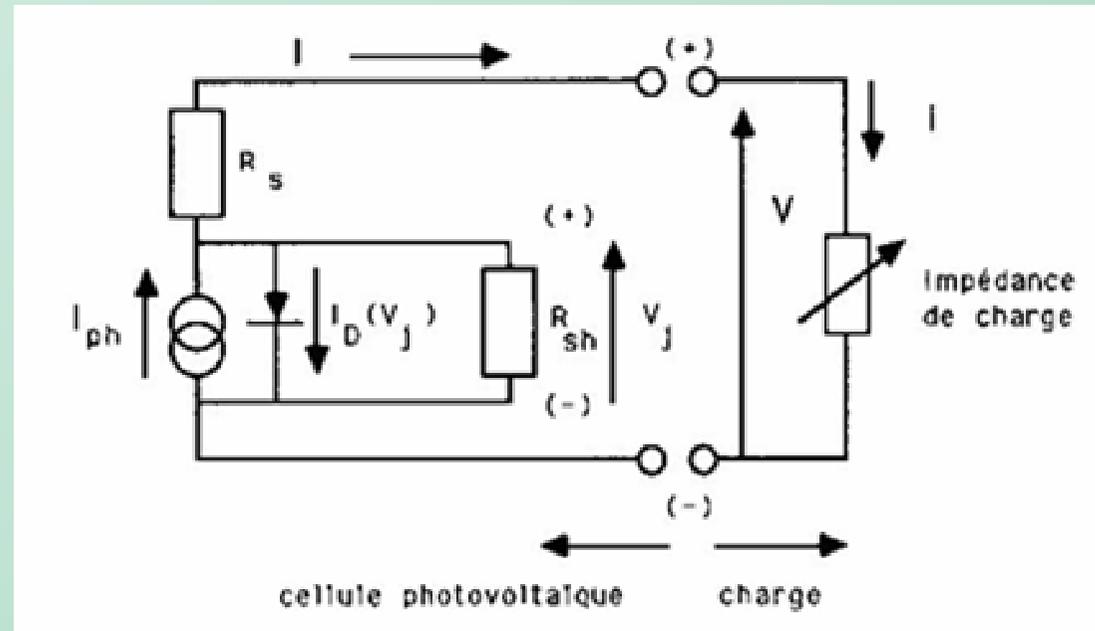
Chaînage de différents modèles (phénomènes couplés)

Amélioration du modèle d'écoulement d'air (Univ. de Cergy) et du modèle de composant photovoltaïque (INSA de Lyon), GAT Habitat PRI 6.2

Collecte de données d'analyse de cycle de vie

Temps de retour énergétique des modules : de 3 à 7 ans (fabrication, intégration)

# Modélisation d'une cellule photovoltaïque



$$I = \alpha GS - I_0(T) \left\{ \exp \left[ \frac{q}{\gamma k T} (V + IR_S) \right] - 1 \right\} - \frac{V + IR_S}{R_{SH}}$$

**Interaction avec les aspects thermiques :  
température de jonction  
Thèse sur l'intégration aux bâtiments**

# Echangeurs air / sol

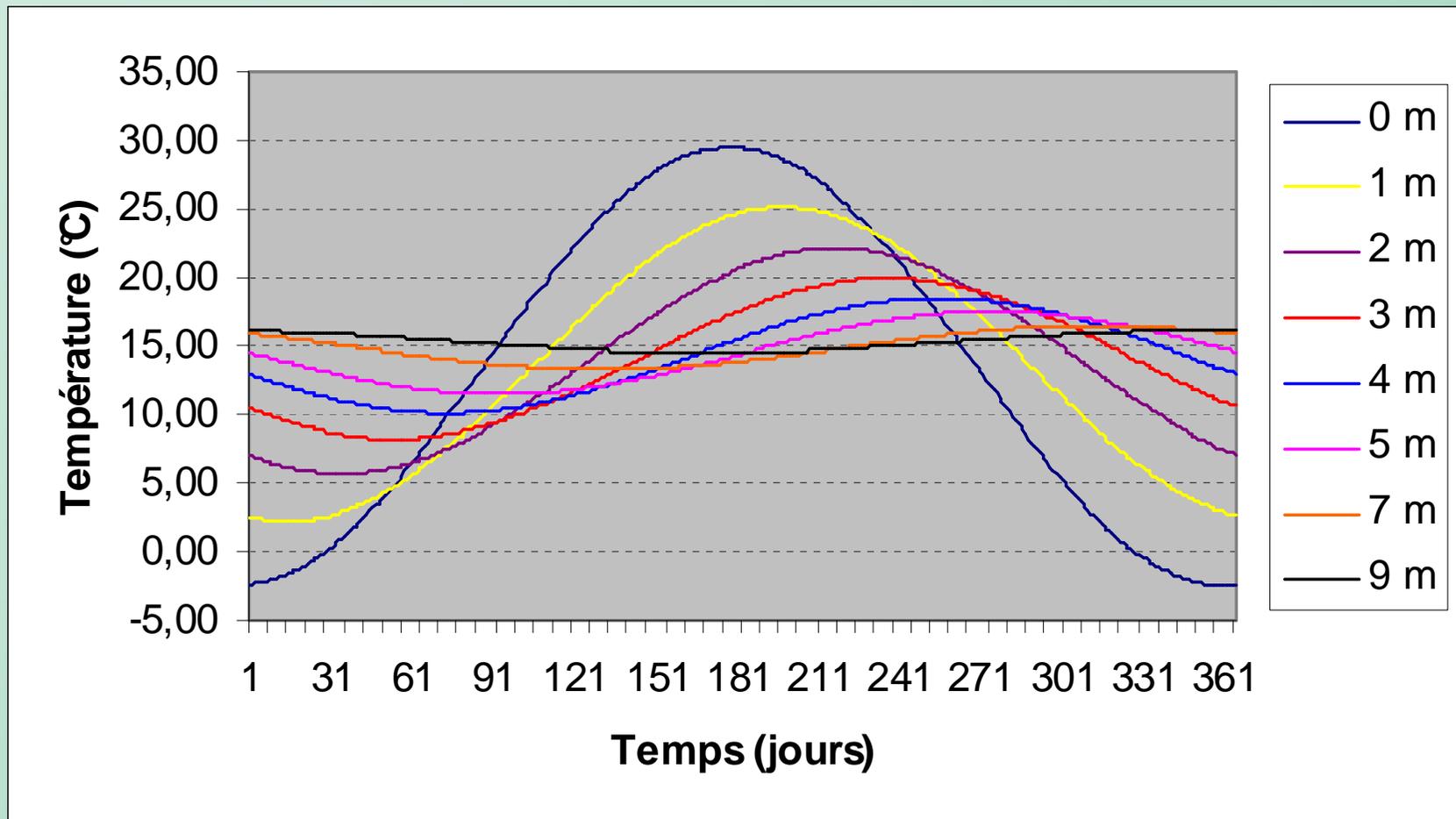


**Maison de retraite à  
Presles (95), 2004  
Modèle de sol, collab.  
avec INSA Toulouse  
Maillage  
Simulation dynamique**

**Salle de 240 m<sup>2</sup>  
8 tubes de 40 m de long  
à 1,6 m de profondeur  
0,9 (hiver) à 1,5 (été) vol/h  
150 -> 30 degrés jours  
d'inconfort (base 24°C)**

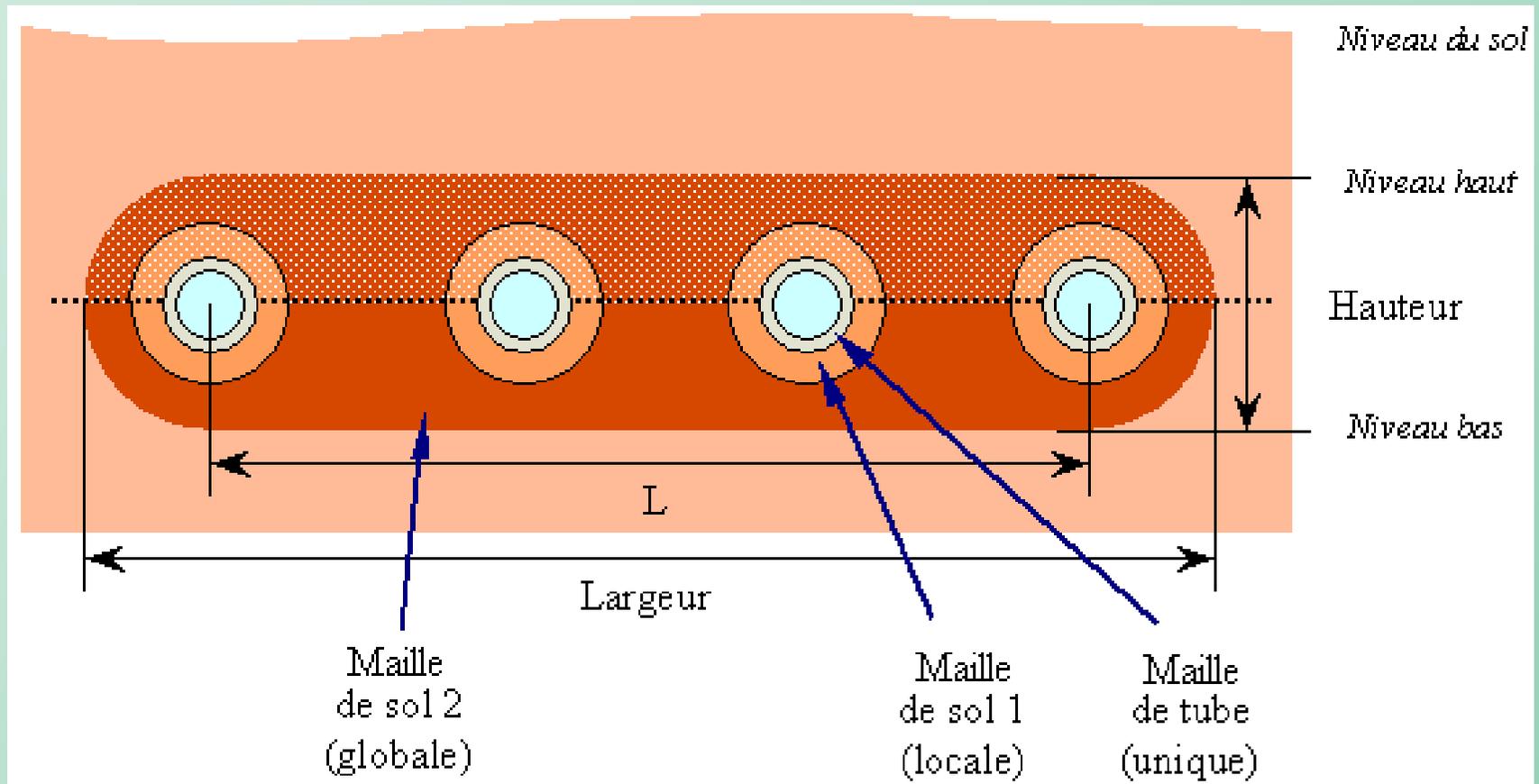


# Modélisation du sol



**Approximation sinusoïdale, massif semi-infini**

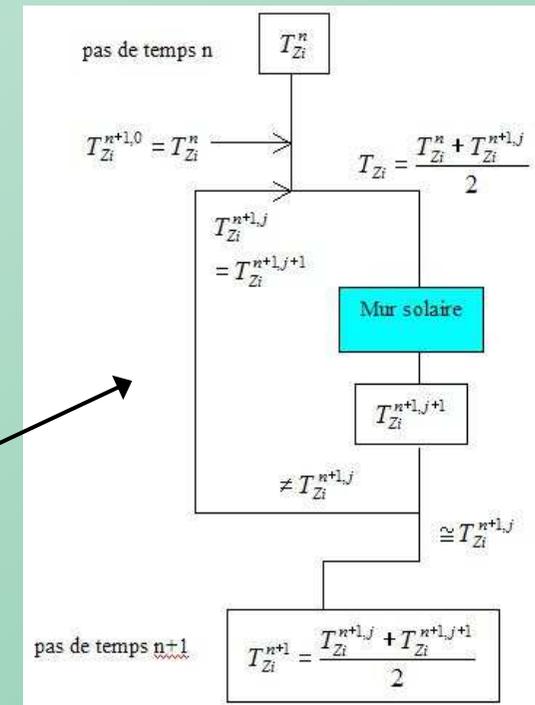
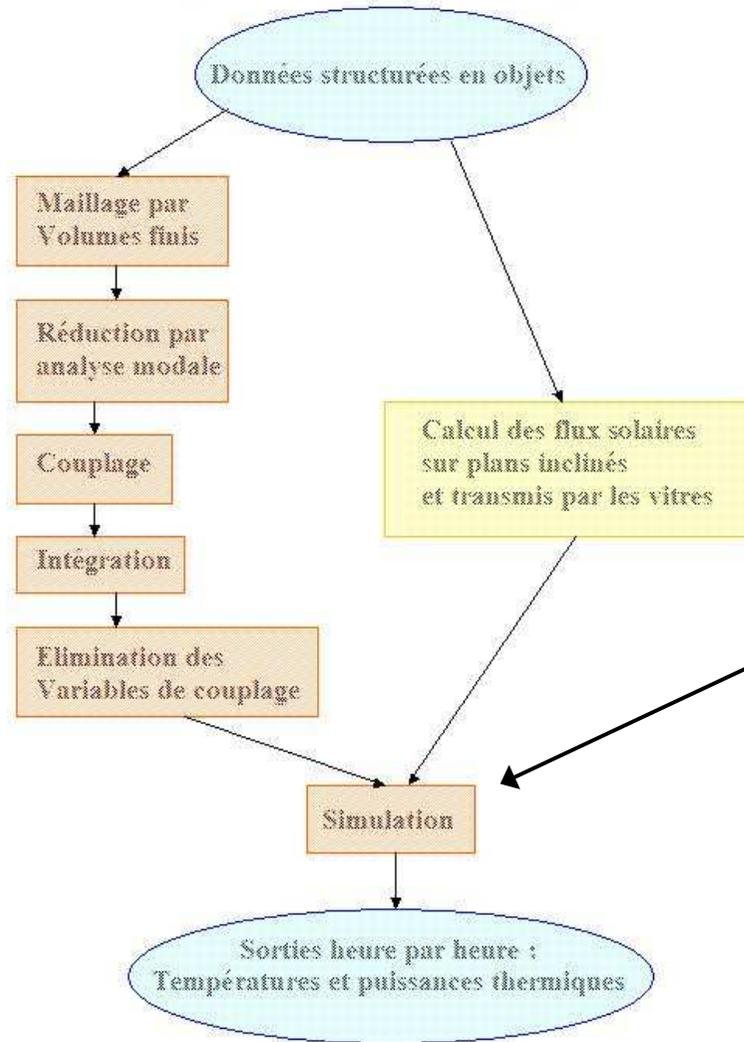
# Maillage du système étudié (sol + tubes enterrés)



**Thèse en cours, validation du modèle et intégration dans des bâtiments à « énergie positive »**

# Couplage modèles composants - bâtiments

## CALCULS THERMIQUES, ALGORITHME



**Programmation  
orientée objets  
-> capitalisation**

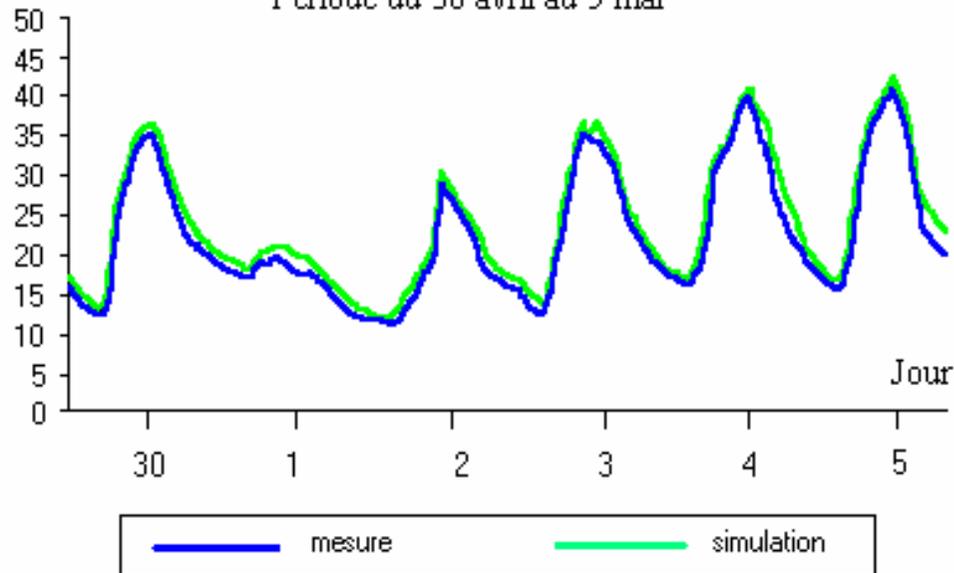
# Principales limites des modèles

- ▶ **Locaux de grande hauteur, stratification**
- ▶ **Mouvements d'air**
- ▶ **Humidité, échanges enthalpiques**
- ▶ **Composants non pris en compte (matériaux à changement de phase, co-génération...)**
- ▶ **Couplage de plusieurs systèmes, par exemple PV hybride + échangeur air / sol**

# Validation, cas des bâtiments à faibles besoins ?

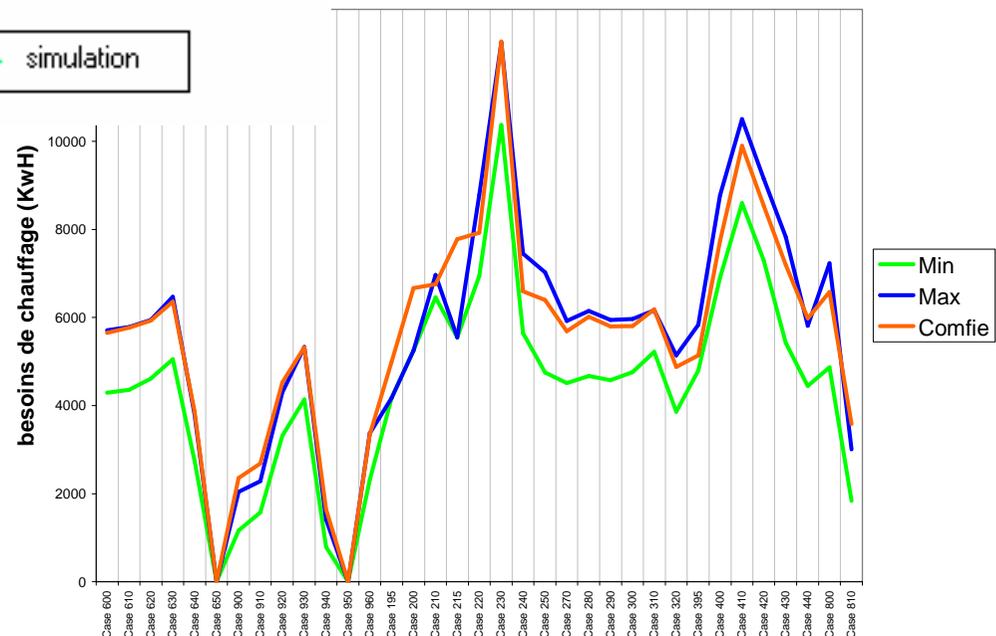
temperature [°C]

Mesures CEN Cadarache, cellule test avec véranda  
Période du 30 avril au 5 mai



Comparaison  
à des mesures  
sur cellule test  
avec véranda  
CEN-Cadarache

Comparaison avec 8  
codes (TRNSYS, DOE,  
SUNREL, ESP,...) 35  
cas : +14% / moyenne,  
+2% / maximum



# Standard « maisons passives »

## Résidence Salvatierra, Rennes



*Architecte : Jean-Yves Barrier*

*Objectif : Besoins de chauffage < 15 kWh/m<sup>2</sup>/an*

*Résultat des mesures (INSA de Rennes) : 41 kWh/m<sup>2</sup>/an*

*Analyse : ventilation double flux, façade en bauge ?*

# Maisons à énergie positive, Freiburg



Énergie		Level-linge
Fabricant		
Modèle		
<b>Économe</b>		<b>A</b>
A		
B		
C		
D		
E		
F		
<b>Peu économe</b>		
G		
Consommation d'énergie kWh/cycle		0.95
<small>Consommation d'énergie kWh/cycle</small>		
<small>La consommation réelle dépend des conditions d'utilisation</small>		
Efficacité de lavage	le plus élevé	A+++
Efficacité d'essorage	le plus élevé	A+++
Vitesse d'essorage (tr/min)		1200
Capacité (blanc kg)		5,0
Consommation d'eau L		48
Bruit [dB(A) re 1 pW]	Lavage	51
	Essorage	65
<small>Norme EN 50483</small>		
<small>Directeur de la recherche et du développement</small>		

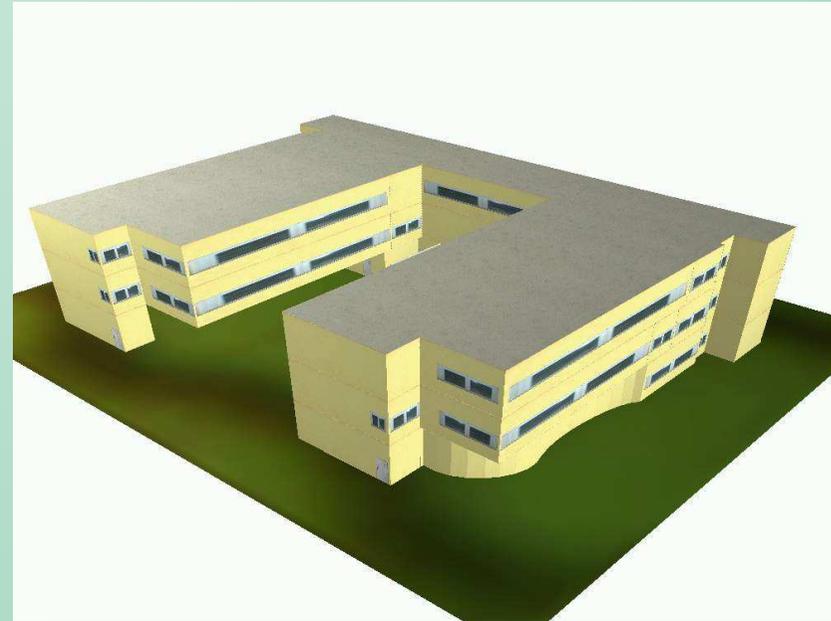
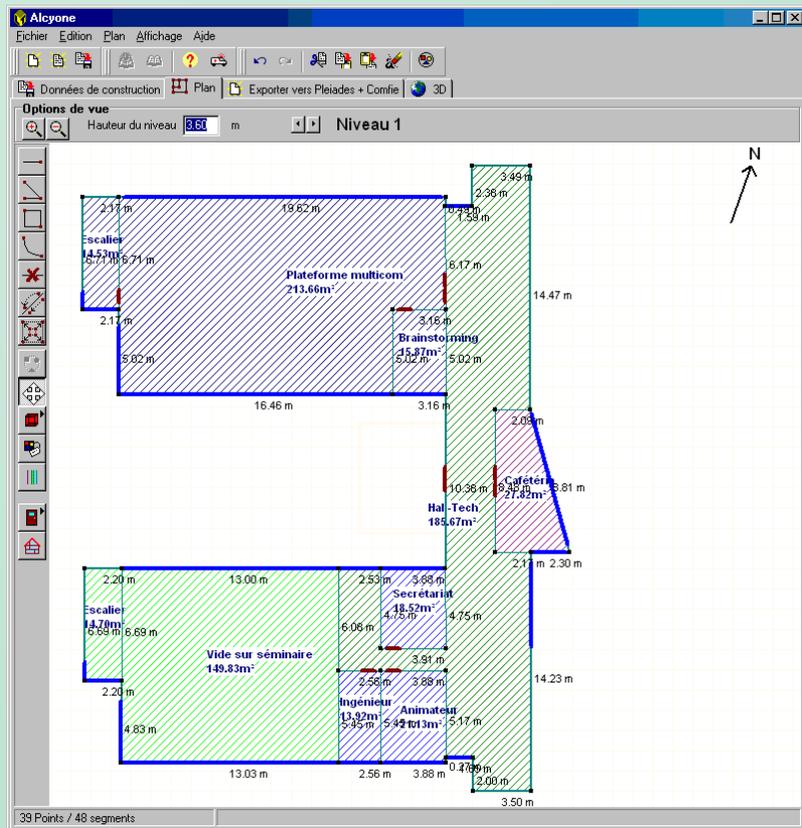
Architecte : Rolf Disch

Besoins de chauffage mesurés (Inst. Fraunhofer) : 11 kWh/m<sup>2</sup>/an

Les bâtiments produisent plus d'énergie qu'ils n'en consomment

Réduire les coûts et les impacts environnementaux,  
améliorer le confort

# De l'évaluation à l'aide à la conception



Interface utilisateurs,  
ALCYONE

Quelques journées de travail pour un projet  
Intérêt : comparaison de variantes  
Travail dès l'esquisse

# Interface utilisateurs, PLEIADES

The screenshot displays the PLEIADES software interface, which is used for building energy simulation. The main window is titled "DH-Multi / PROJECT NAME : Tutorial / PROJECT VARIANT : Base". It features a menu bar (File, Windows, Tools) and a toolbar with various icons for file operations and simulation control.

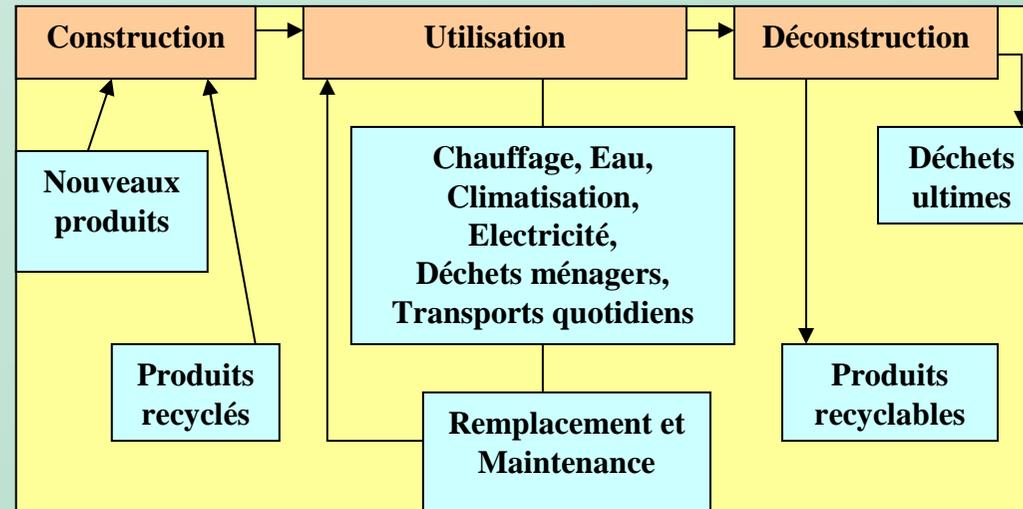
The interface is divided into several panels:

- Building:** A tree view on the left lists building components: Livingroom (Wall 1/1 to 1/6, Floor 1/7, Roof 1/8) and GreenHouse.
- Rooms and contacts:** A panel on the right showing "List" with "Mur d'entrée" and "Débord du toit".
- Walls characteristics:** A panel on the right showing "Characteristics of the integrated shading" with input fields for Left distance (0.5 m), Right distance (0.5 m), Top distance (0.5 m), Left projection (0.5 m), Right projection (0.5 m), and Top projection (0.5 m).
- Shading tools:** A dialog box in the foreground showing "Visualization of the effect of the shading". It includes input fields for Latitude (44), Orientation of the wall (0), Slope (90), Window Width (100 cm), and Window Height (100 cm). It also has a "Meteorological station" dropdown set to "Clear sky". The visualization is a 3D bar chart showing monthly solar radiation (kWh/m²/Month) from January to December. The chart is divided into "Not shaded" (green) and "Shaded" (yellow) areas. The y-axis ranges from 0 to 150 kWh/m²/Month. The x-axis shows months from Jan to Dec.
- Caractéristiques du masque intégré:** A panel on the right showing "Caractéristiques du masque intégré" with input fields for Nom, Distance gauche (0.5 m), Distance droite (0.5 m), Distance supérieur (0.5 m), Débord gauche (0.5 m), Débord droit (0.5 m), and Débord supérieur (1 m).

The bottom of the screen shows the Windows taskbar with the Start button and several open applications: Démarrer, Explorateur - C:\PleiaDES\..., Pleiades 2.04, and Microsoft Photo Editor - [sa...]. The system tray shows the date and time: 15 Avril 14:24.

# Aspect environnemental – ACV du bâtiment

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



## ► Intégration de nouveaux composants

- Collecte de données

## ► Extension à l'échelle du quartier

- Projet ADEQUA, logiciel ARIADNE

## ► 2 thèses

# Conclusions et perspectives

- ▶ **Outils opérationnels, adaptés aux pratiques professionnelles (BET, Architectes)**
- ▶ **130 utilisateurs, formations**
- ▶ **Limites (espaces stratifiés, équipements)**
- ▶ **Améliorations possibles (diffus non isotrope, humidité, masques réfléchissants...)**
- ▶ **Ajout de composants (solaire thermique, puits canadiens)**
- ▶ **Chaînage entre différentes évaluations (thermique, ACV, éclairage, acoustique, coûts...)**