

**Approfondissement
Énergétique des bâtiments et confort
Département Génie Civil
Ecole des Ponts ParisTech**

Confort hygro-thermique

**Bruno PEUPORTIER
ParisTech**

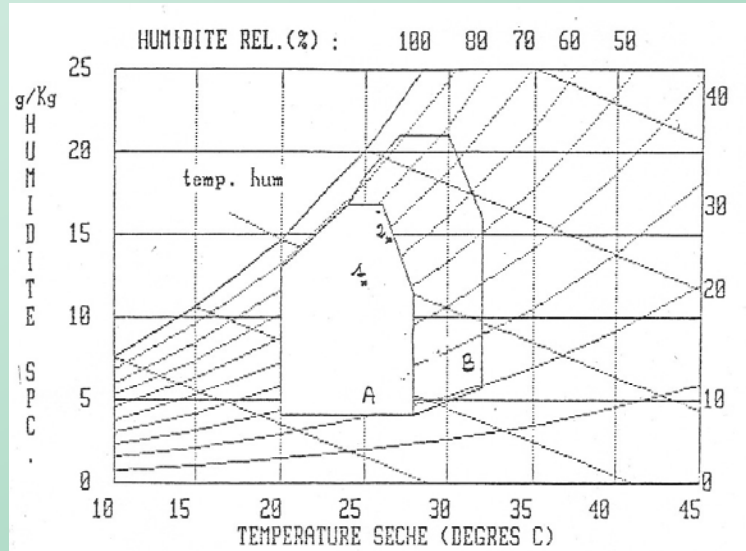


Ambiance

- ▶ **Température, humidité, éclairement, luminances, niveau de bruit, vitesse d'air, odeur...**
- ▶ **Interaction température – humidité – vitesse d'air**
- ▶ **Confort thermique, gestion des canicules**
- ▶ **Techniques pour améliorer le confort thermique : protections solaires, ventilation, inertie thermique**
- ▶ **+ ventilateur (vitesse d'air), + déshumidification ou humidification**



Diagramme de confort (Givoni)



B : avec un ventilateur

2

Température résultante

- ▶ Température de l'air T_a
- ▶ Températures des parois T_i
- ▶ Température résultante ou opérative

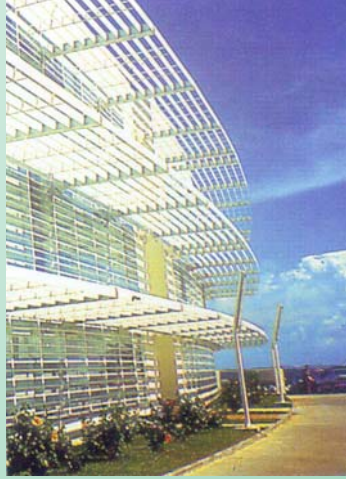
$$T_r = T_a/2 + \frac{1}{2} (\sum T_i A_i / \sum A_i)$$

éventuellement, pondération selon h_r et h_c

- ▶ Paramètres importants : apports solaires (protections), ventilation, inertie thermique
- ▶ Rafraîchissement « passif »

3

Protections solaires



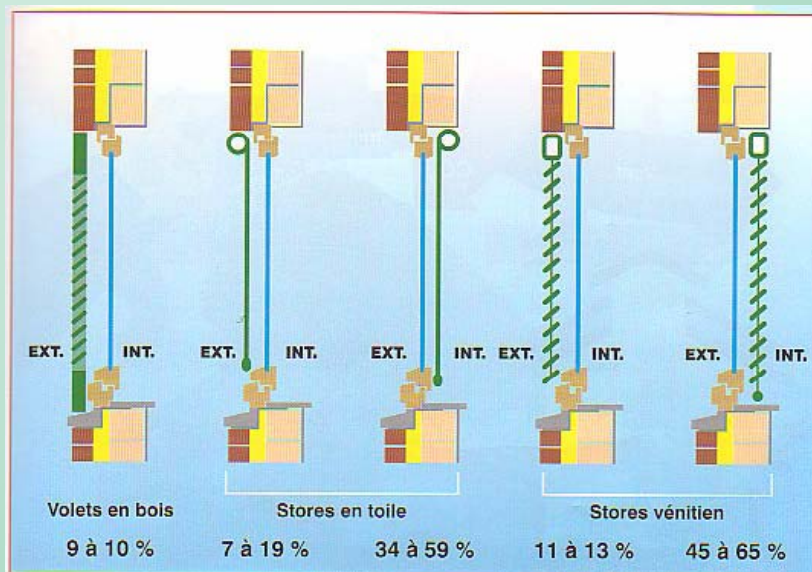
*Rectorat des Antilles et de la Guyane, Schoelcher (Martinique)
architectes : C. Hauvette et J. Nouel*

Photos Systèmes solaires



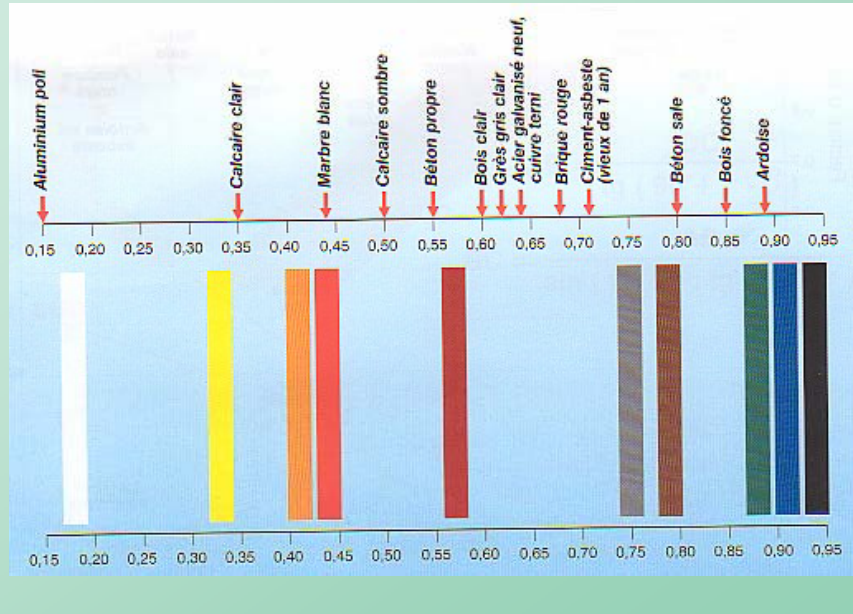
4

Protections solaires amovibles



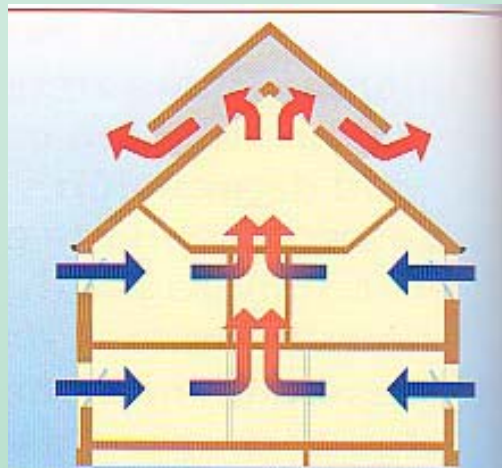
5

Absorption, matériaux et couleurs



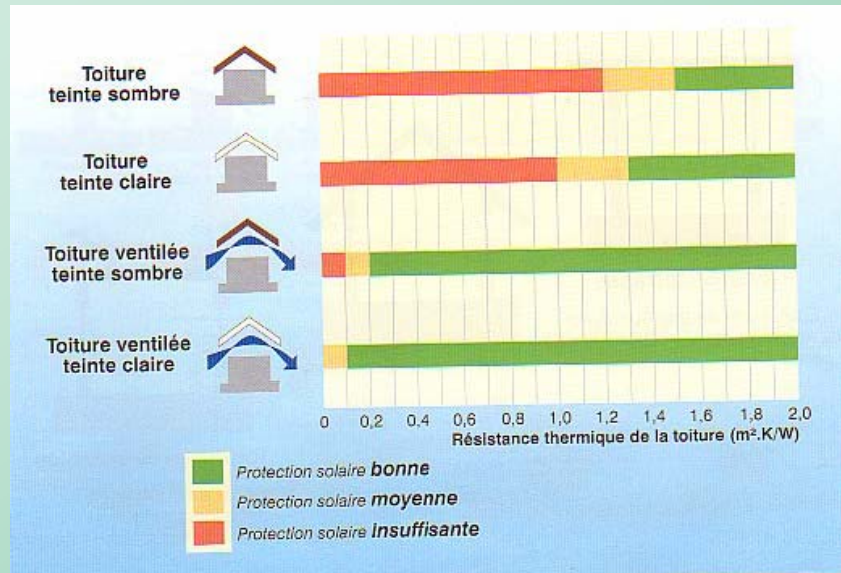
6

Ventilation nocturne



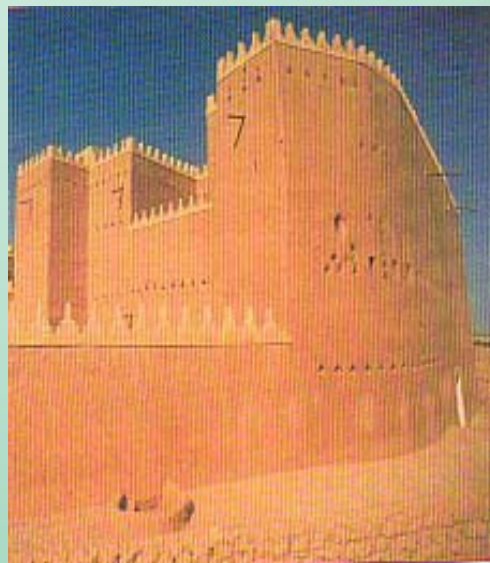
7

Conception du toit



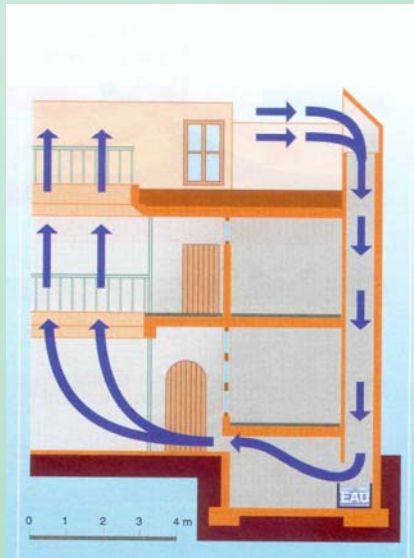
8

Inertie thermique



9

Ventilation (tours à vent)



10

Bilan thermique

- ▶ Apports – déperditions = énergie stockée
- ▶ $Q_{sol} + Q_{int} - H(T - T_{ext}) = C \, dT/dt$
- ▶ Si C est petit, énergie stockée ≈ 0
- ▶ fenêtres, parois légères, air : régime permanent
- ▶ Si C est grand, dT/dt est petit : l'inertie thermique atténue les fluctuations de température
- ▶ Exercice : résoudre l'équation ci-dessus, accroissement de température sur 1 heure le 15 mars à midi avec $T_{ext} = 10 \text{ C}$ et T initiale = 20 C ?
Hypothèse : $Q_{int} = 1000 \text{ W}$



11

Résolution des équations différentielles

- ▶ $dT/dt = a T + b$ ($a < 0$)
- ▶ $T' = T + b/a$ $dT'/dt = dT/dt = a(T' - b/a) + b = a T'$
- ▶ $dT' / T' = a dt$
- ▶ $\text{Log } T' = a t + c$
- ▶ $T' = c e^{at}$
- ▶ $t = 0, T' = T_{in} + b/a = c$
- ▶ $t = \infty, T' = 0 \rightarrow T = -b/a$, régime statique
- ▶ $a = -1/\tau$ τ : constante de temps
- ▶ $T = T_{in} e^{-t/\tau} - b/a (1 - e^{-t/\tau})$



12

Simulation thermique

- ▶ Plusieurs zones dans un bâtiment
- ▶ Plusieurs couches de matériaux dans les parois
- ▶ Système d'équations différentielles
- ▶ Résolution matricielle



13

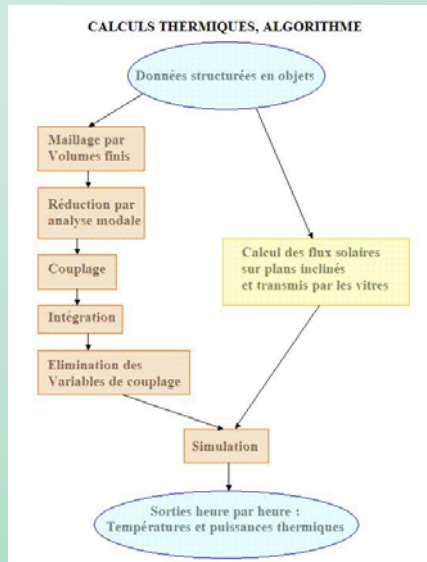


Objectifs et principes

- ▶ Aide à la conception bioclimatique : réduction des besoins de chauffage et de climatisation, prise en compte des apports solaires, amélioration du niveau de confort
- ▶ analyse en dynamique, simulation
- ▶ simplicité d'utilisation, description d'un projet et comparaison de variantes
- ▶ structuration en objets, ajout de nouveaux composants (PV, solaire thermique, éclairage...)



Algorithme



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

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

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

(T_0 = partie dynamique)

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

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



16

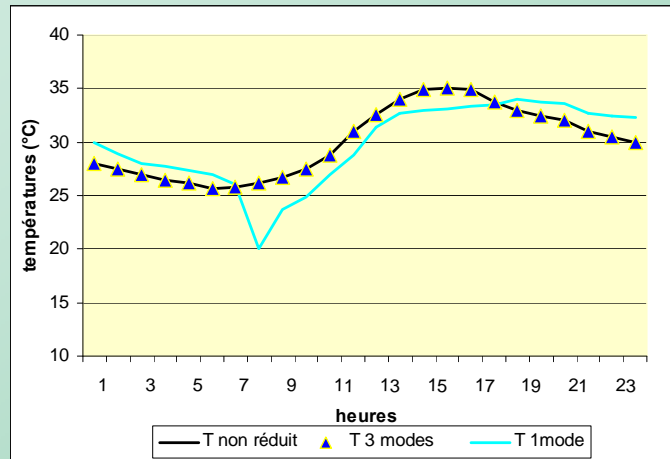
Principales hypothèses et simplifications

- ▶ Une température par zone (pas de stratification), 1 à 5 nœuds par paroi (selon l'inertie), nombre et raison géo paramétrables
- ▶ transferts rad. linéarisés + h convectifs constants (3 classes d'exposition au vent)
- ▶ uniformité du rayonnement solaire capté (pas de suivi de la tache solaire - meubles)
- ▶ réduction de modèle par analyse modale (10 constantes de temps par zone)
- ▶ échanges d'air internes évalués par corrélations (pas de CFD)
- ▶ Si échanges avec le sol, température moyenne annuelle / ext.



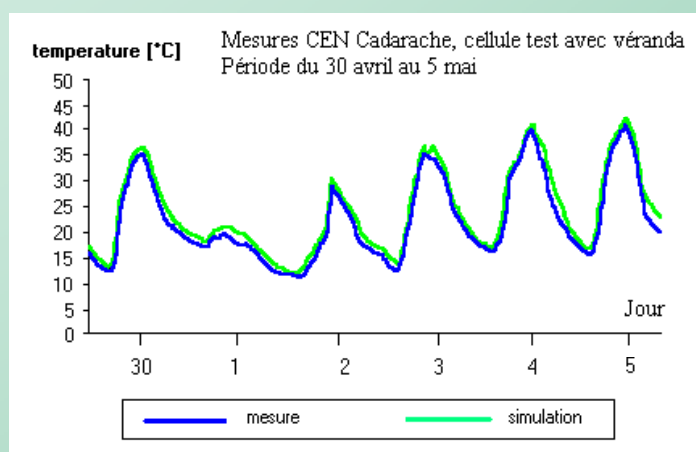
17

Influence de la réduction modale



18

Validation, cas d'une véranda



19

Validation par rapport à des mesures



Figure 1a Outdoor test facility with removable façade element.

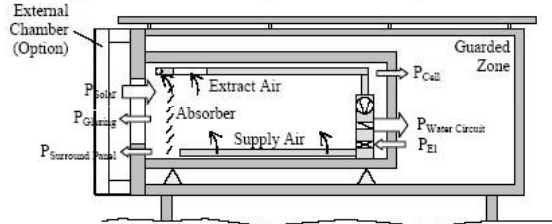


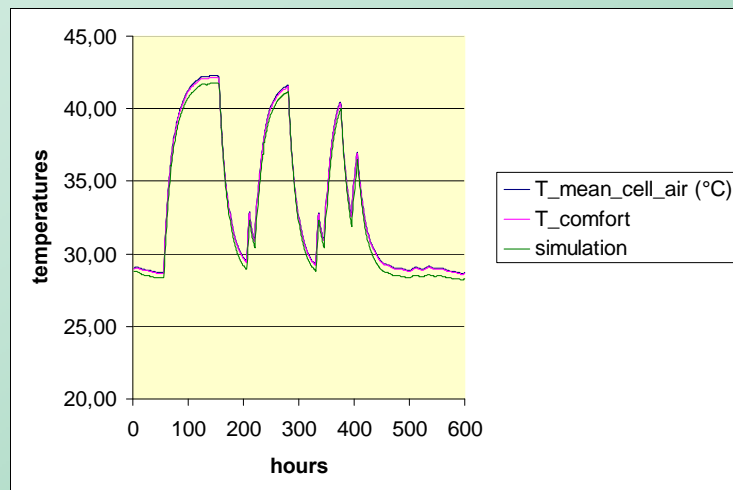
Figure 1b Diagram of test room with an optional external chamber.



Agence Internationale de l'Énergie, cellule test EMPA

20

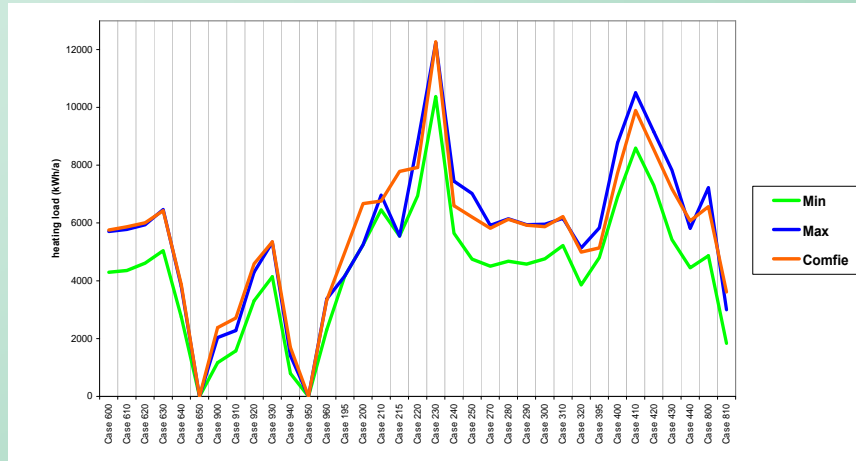
Comparaison mesures - calculs



21

Procédure « Bestest » de l'AIE

Comparaison avec 8 codes (TRNSYS, DOE, SUNREL, ESP,...)

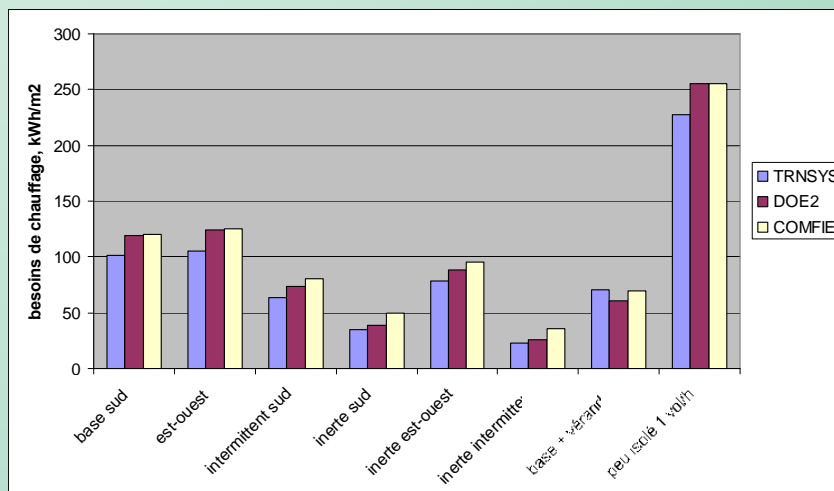


35 cas : +14% / moyenne, +2% / maximum



22

Procédure « Bestest » de l'AIE

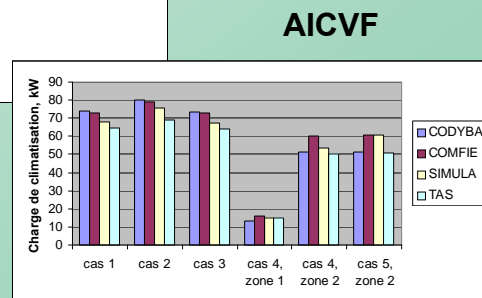
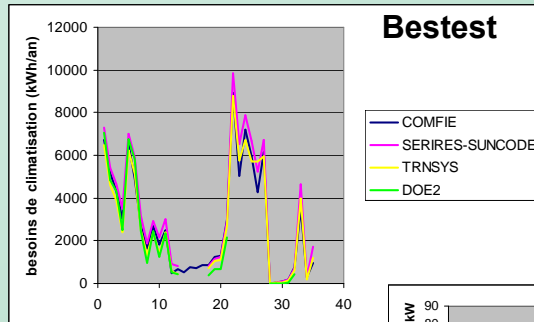


20% d'écart entre DOE et TRNSYS, COMFIE un peu plus élevé



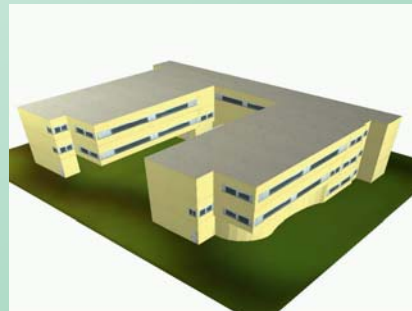
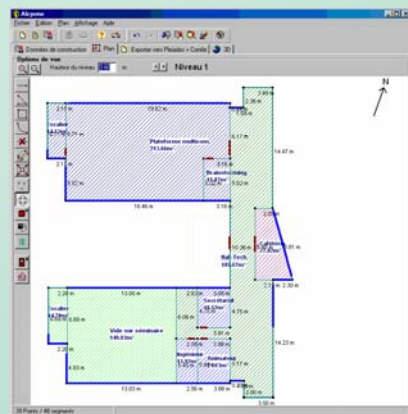
23

Bestest et AICVF, besoins de froid



24

Interface utilisateurs, ALCYONE

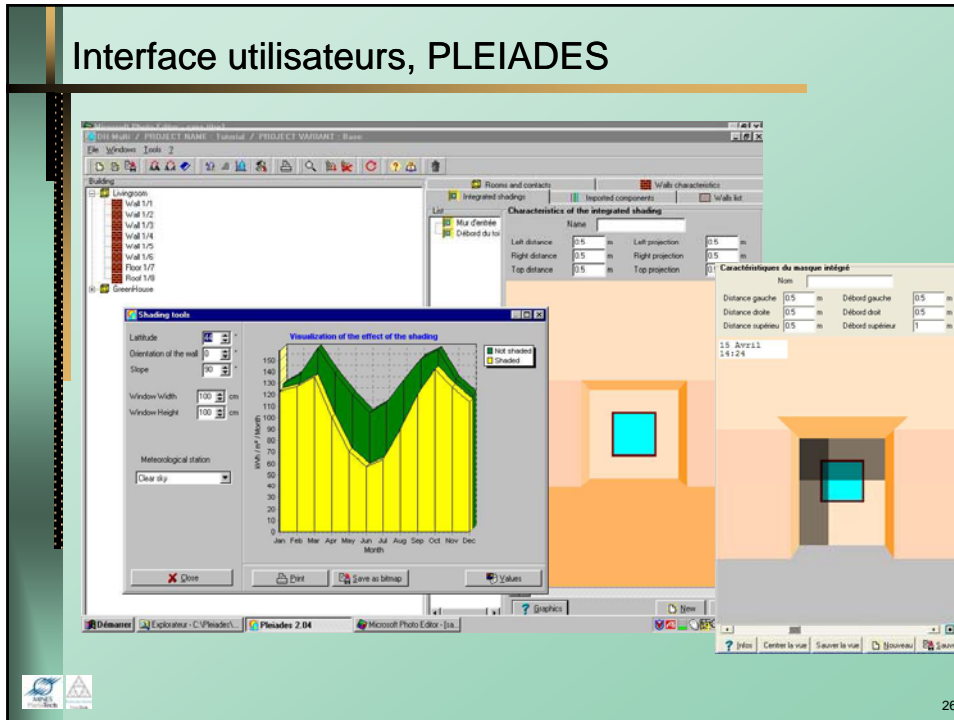


**Quelques journées de travail pour un projet
Intérêt : comparaison de variantes
Travail dès l'esquisse**



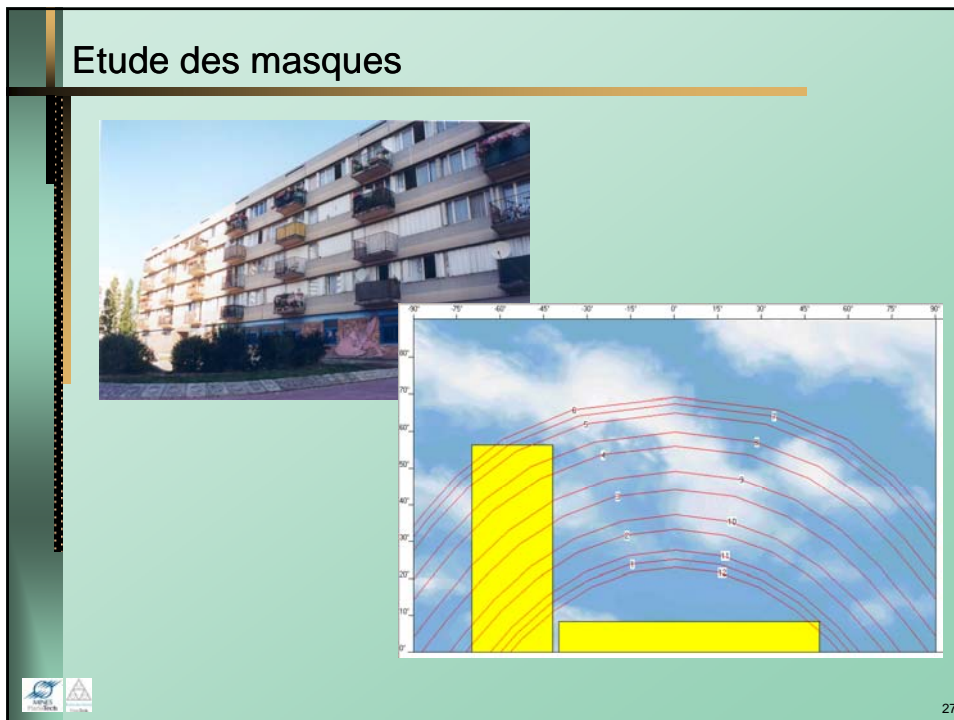
25

Interface utilisateurs, PLEIADES



26

Etude des masques



27

Echanges d'air entre zones

Interface Comfie / NOM DU PROJET :Projet / VARIANTE DU PROJET :Variante

Fichier Affichage Outils ?

Environnement Fonctionnement Simulation Sorties

7 zones thermiques : Ventilation interne

Ventilations

- Loggia - 1
- Pièce - 2
- Loggia - 3
- Pièce - 4
- Cuisine - 5
- Chambre - 6
- Pièce - 9
- Séjour - 7
- Loggia - 8

Caractéristiques des événements

Dessins d'aide

Dimensions

Surface d'un événement: 0 m²

Hauteur entre les événements: 0 m

Système d'ouverture

- Ouverte si la pièce Séjour - 7 est plus chaude que la pièce Loggia -
- Fermée si la pièce Séjour - 7 est plus chaude que la pièce Loggia -
- Toujours ouvert

OK Annuler

$$P = f(A, H^{0.5}, \Delta T^{1.5})$$



28

Saisie des ponts thermiques (ALCYONE)

Alcyone Juin 04

Fichier Edition Affichage Favoris Outils ?

Adresse: C:\Documents and Settings\peuportier_2\Mes documents\Alcyone Juin 04

Dossiers

- Bureau
- Alcyone
- Ponts thermiques
 - Plancher bas sur terre plein
 - a.1.1 - Liaison périphérique avec un mur donnant sur l'extérieur ou sur un local non chauffé
 - Isolation intérieure
 - PB-TP11
 - PB-TP12
 - Mur maçonnerie courante 20 à 30 cm
 - Soubassement maçonnerie courante
 - Plancher béton isolé en sous-face (R isolant >= 1,4m² K/W)
 - Plancher maçonnerie 5 à 7,5 cm
 - PB-TP13
 - PB-TP14
 - Isolation extérieure

Table

z (en cm)	épaisseur du plancher ep (cm)		
	15	20	25
z < -70	0.30	0.34	0.38
-70 <= z < -40	0.35	0.41	0.46
-40 <= z < -20	0.40	0.46	0.51
-20 <= z < +20	0.46	0.53	0.60
+20 <= z < +40	0.48	0.56	0.64
+40 <= z	0.50	0.59	0.68

Isolation sous toute la surface du plancher

Isolation périphérique horizontale ou verticale (L=1.5m)

Valeur sélectionnée

OK Annuler



29

Editeur de graphes, ex : Confort thermique en mi-saison

