

**Chaire ParisTech "Éco-Conception  
des ensembles bâtis et des infrastructures"**

**Soirée Réhabilitation, 11 mai 2009**

**L'éco-conception en réhabilitation**

**Bruno PEUPORTIER  
Mines ParisTech – CEP**



## Importance du parc de bâtiments existants

- ▶ Secteur du bâtiment = 45% de la conso. Energétique
- ▶ 300 000 logements construits par an pour 30 millions existants : neuf = 1% du parc par an
- ▶ 65% les logements construits avant la réglementation (1975)
- ▶ Importance égale de la réhabilitation et de la construction en terme de travaux (C.A. annuel)
- ▶ Intérêt de prendre en compte la performance énergétique dans une opération de réhabilitation

## éco-conception des bâtiments

- ▶ Prendre en compte les aspects environnementaux dans la conception (neuf mais aussi projet de réhabilitation)
- ▶ Préservation des ressources (énergie, eau, matériaux, sol), protection des écosystèmes, au niveau planétaire (climat, ozone), régional (forêts, rivières...), local (déchets, qualité de l'air...)
- ▶ Liens environnement-santé
- ▶ Aspects méthodologiques, technologiques, utilité de références (projets exemplaires)



2

Supported by

Intelligent Energy  Europe

## Training for Renovated Energy Efficient Social housing ( TREES )



Objectifs :

- ▶ Développer du matériel pédagogique sur la réhabilitation thermique des logements
- ▶ Contribuer à la mise en œuvre de la directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments

Partenaires :



Coordination :



3

TREES, livrables : <http://www.cep.ensmp.fr/trees/>

► Présentations et textes explicatifs  
en anglais

► Matériel modulaire, incluant

18 sections, structurées en 3 parties :

I. Techniques (isolation, vitrages,  
systèmes solaires, ventilation, équipements),

II. Outils (évaluations énergétiques, environnementales...)

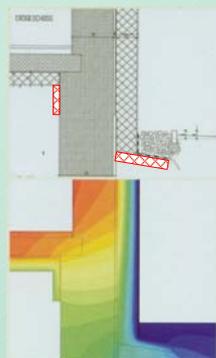
III. Etudes de cas (projets de démonstration, bonnes pratiques)

► Relectures par des experts et des enseignants, ateliers

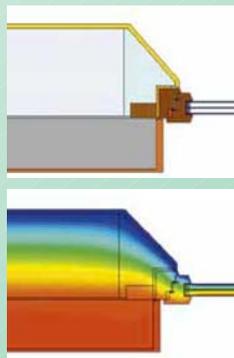


4

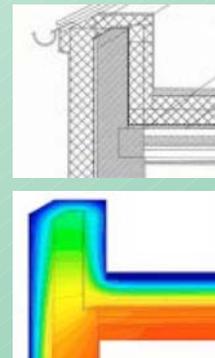
## Réduction des ponts thermiques



► Insulation of cellar  
with frost aprons  
and additive  
insulation stripes



► Windows mounted  
outside the  
external walls  
► Insulation of blind  
frames



► Insulation of sills  
without interruption



5

## Etanchéité à l'air



- ▶ Airtight connection of window frame to airtight layer of exterior wall with reinforced adhesive tape
- ▶ Sealing tape inserted by plastering with insulation glue



- ▶ Airtight layer upon upper-level ceiling
- ▶ Gaps filled with gypsum



6

## Intégration de capteurs solaires au bâti



Roof module collectors that fit to the roof trusses



7

## Sommaire

### ► Démarche d'éco-conception

- Simulation thermique, diagnostic
- Analyse de cycle de vie
- Exemples, lycée et immeuble HLM à Montreuil

### ► Etudes de cas, projet européen TREES

- 4 réalisations en Suède, Allemagne, Hongrie et Pays Bas

### ► Echanges avec la salle



8

## Outil de simulation thermique du bâtiment COMFIE-PLEIADES

**Bruno PEUPORTIER  
et Alain GUIAVARCH  
Mines ParisTech – CEP**

**Thierry SALOMON  
et Renaud MIKOLASEK  
IZUBA ENERGIES**



## 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, PAC, puits canadien...)
- ▶ Peut s'appliquer à la réhabilitation

## Principales hypothèses

- ▶ **Par rapport au calcul réglementaire :**
  - Modèle multi-zones, prise en compte des échanges par exemple entre véranda et local chauffé
  - 10 constantes de temps par zone
  - Différents scénarios de fonctionnement, par exemple sur-ventilation nocturne
  - Données climatiques plus proches des moyennes MétéoFrance, Calcul des apports solaires (masques, transmission par les vitrages)
  - Échanges avec le sol (y compris puits canadien)
- ▶ **Limites du modèle**
  - échanges d'air évalués par corrélations (pas de CFD), amélioration en cours
  - Pas de stratification, humidité non prise en compte
  - Modélisation simplifiée des équipements

## Validation par rapport à des mesures



Agence Internationale de l'Energie, cellule test EMPA

Figure 1a Outdoor test facility with removable façade element.

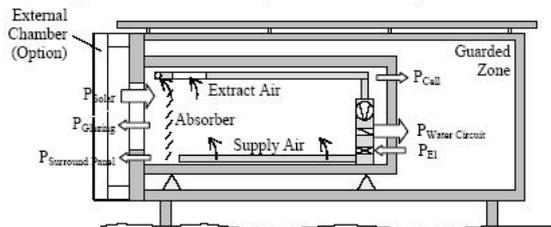
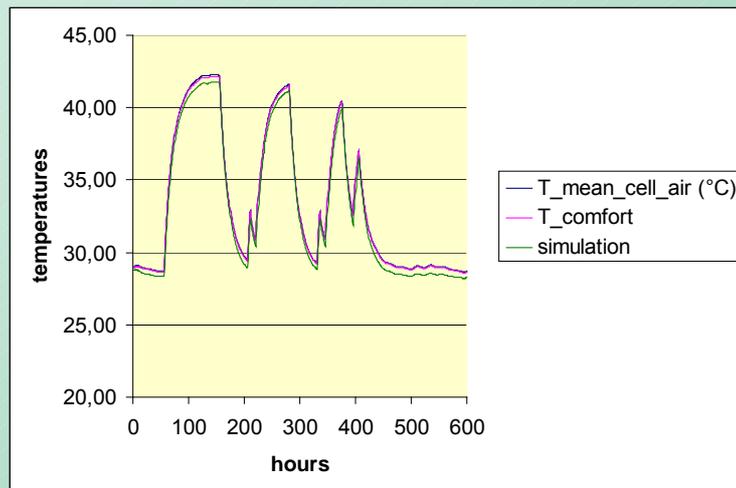


Figure 1b Diagram of test room with an optional external chamber.



12

## Comparaison mesures - calculs

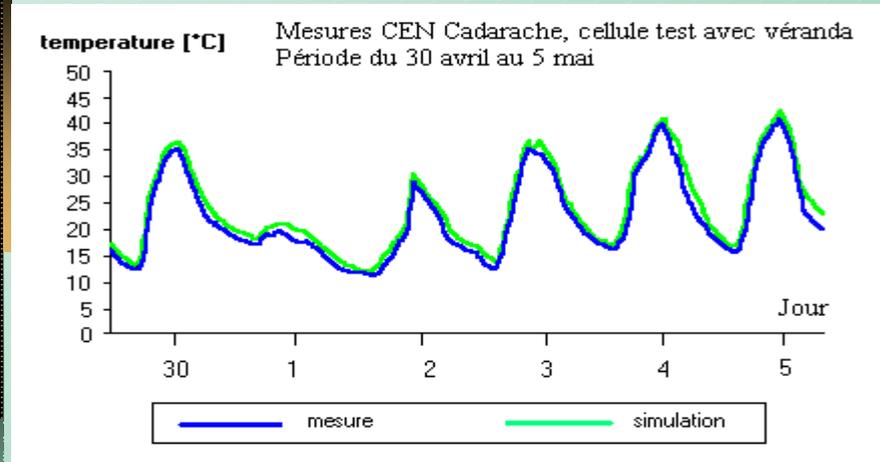


Important de reproduire le comportement dynamique du bâtiment



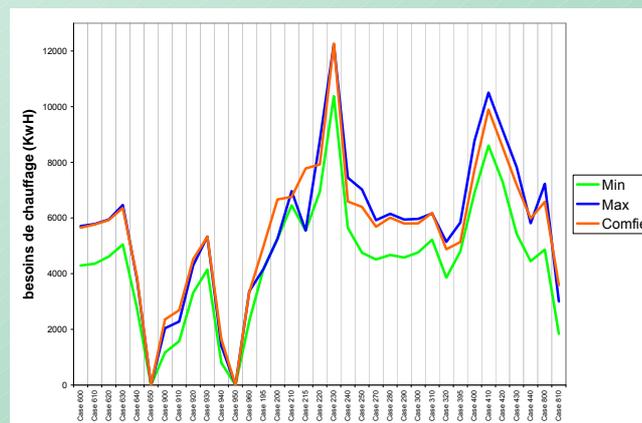
13

## Validation , cas d 'une véranda



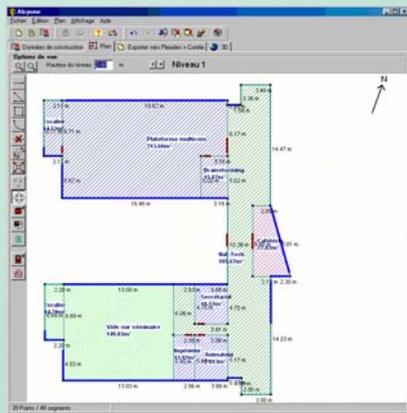
## Validation, procédure « Bestest » de l 'AIE

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

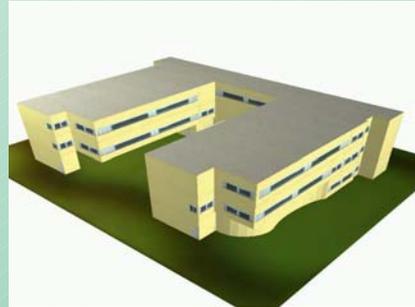


35 cas : +14% / moyenne, +2% / maximum

## Interface utilisateur, étape 1 : géométrie



Logiciel ALCYONE  
2D-3D, cf. [www.izuba.fr](http://www.izuba.fr)



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



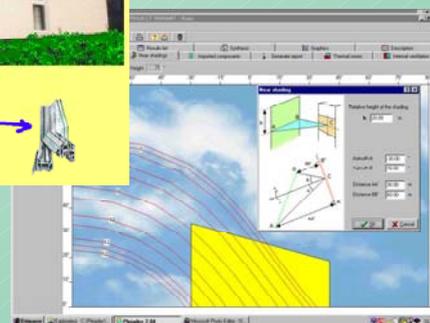
16

## Etape 2 : Modélisation du bâtiment (PLEIADES)



**Usage et  
occupation  
du bâtiment  
(logement,  
tertiaire...)**

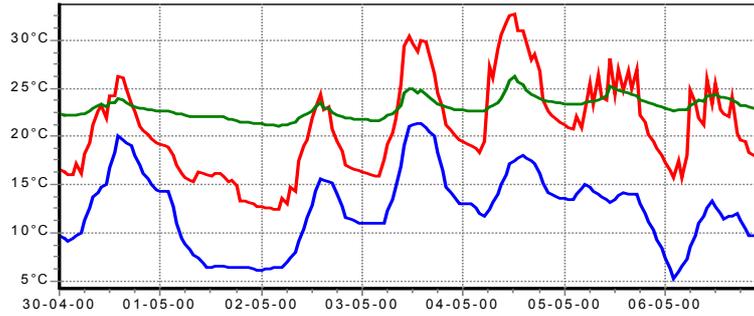
**Compositions des parois  
Types de vitrage  
Site et climat**



17

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

— Montreuil / balcons / Balconies  
— Montreuil / balcons / South  
— Montreuil / balcons / Extérieur



## Etude de cas : Lycée Turquetil, Paris 20<sup>ème</sup>



**6 000 m<sup>2</sup>, lycée professionnel (maroquinerie)  
Construction 1965, rénovation 1994, 450 élèves**

## Etude du site

- Site urbain dense, immeubles voisins d'assez faible hauteur



20

## Relevés de consommations

Electricité	2002	2003	2004	moyenne	/m <sup>2</sup>
consommation (kWh)	157 597	168 160	176 657	167 471	27,7
dépenses (euros)	15 585	16 892	17 800	16 759	2,8
<b>Gaz</b>					
consommation (kWh*)	518 925	435 477	429 443	461 282	76,2
dépenses (euros)	17 792 €	18 252 €	19 000 €	18 348 €	3,0

- Facturation en kWh PCS
- 6050 m<sup>2</sup> chauffés

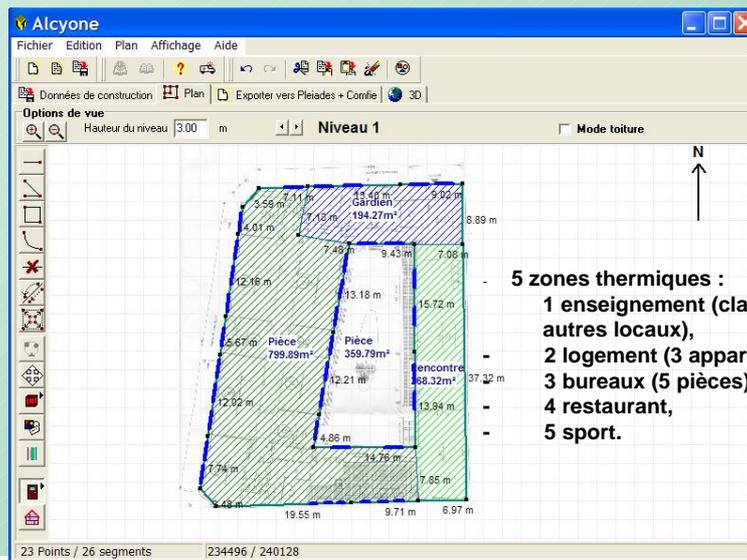


21

## Objectifs de l'étude par simulation thermique

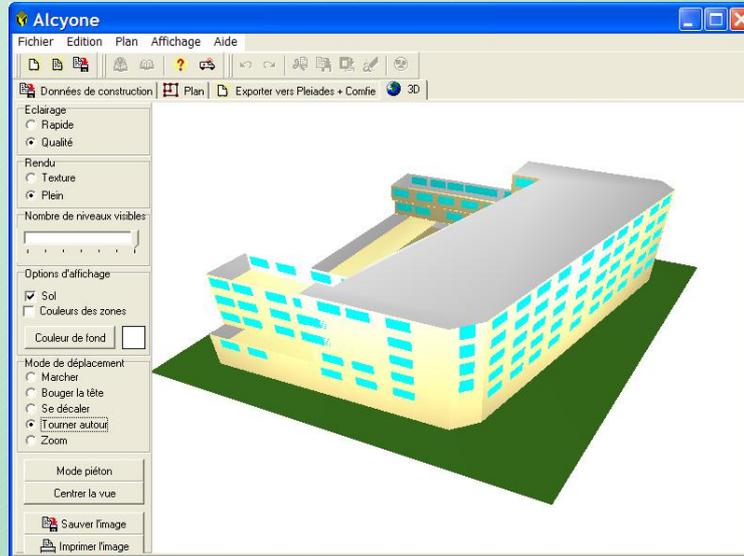
- ▶ Evaluer la possibilité d'atteindre le facteur 4 sur l'ensemble du parc
- ▶ Etudier des mesures d'amélioration échelonnées dans le temps
- ▶ Comparer l'efficacité de différentes mesures

## Saisie géométrique et découpage en zones



- 5 zones thermiques :**
- 1 enseignement (classes et autres locaux),
  - 2 logement (3 appartements),
  - 3 bureaux (5 pièces),
  - 4 restaurant,
  - 5 sport.

## Vue 3D



**six niveaux (sous-sol, rez-de-chaussée et 4 étages)**

24

## Hypothèses sur l'occupation et la gestion

- ▶ **Elèves 8h30-17h30, 8h30-12h30 mercredi et samedi**
- ▶ **Chauffage 20°C de 6h à 19h (6h-13h samedi), ralenti 15°C nuit et week end, logements 20°C**
- ▶ **Ventilation 1 vol/h (sauf week end, 7h-13h samedi) par ouverture des fenêtres, infiltrations 0,1 vol/h le week end, logements 0,6 vol/h**
- ▶ **Apports internes 17 W/m<sup>2</sup> bureaux et classes en occupation -> 28 kWh/m<sup>2</sup> (facture électricité)**

25

## Paramètres incertains

- ▶ Taux de renouvellement d'air (ouverture des fenêtres, des portes intérieures, vent...)
- ▶ Rendement de la chaudière
- ▶ Epaisseurs d'isolation
- ▶ Caractéristiques des baies
- ▶ Ponts thermiques
- ▶ Température des locaux, présence d'occupants
- ▶ Utilisation de l'éclairage artificiel



26

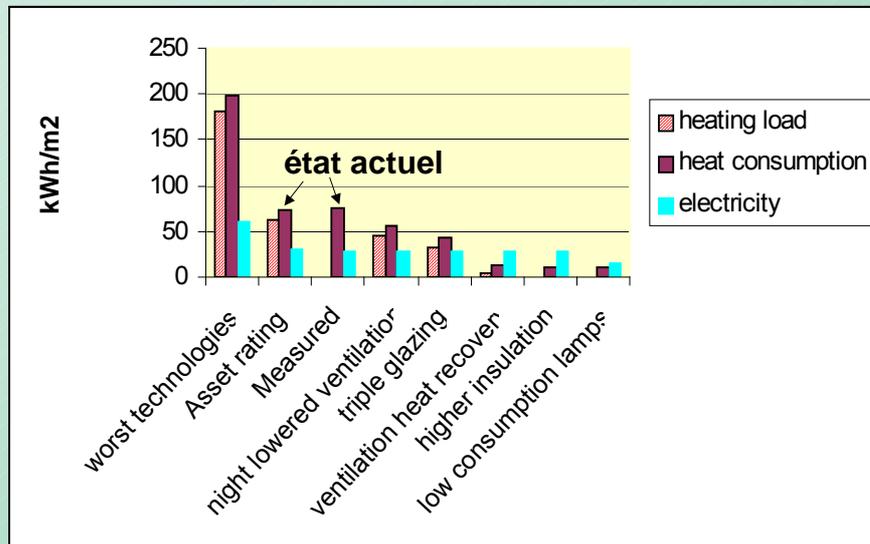
## Evaluation

- ▶ Climat Trappes (moyenne sur 20 ans)
- ▶ hypothèses concernant la construction
  - isolation des murs 6 cm,  $U = 0.5 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$
  - isolation du toit 4 cm PU,  $U = 0.6 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$
  - isolation du plancher bas 4 cm PS,  $U = 0.75 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$
  - fenêtres double vitrage standard,  $U = 2.8 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$
- ▶ Rendement de la chaudière (récente) : 95%
- ▶ Ventilation : 1 vol/h dans les locaux d'enseignement
- ▶ consommation de chauffage : 440 000 kWh (moyenne sur 3 ans de facture 460 000 kWh)



27

## Etude de différentes mesures d'amélioration



Hypothèse VMC double flux 0,1 W pour 1 m<sup>3</sup>/h -> 1,2 kWh/m<sup>2</sup>

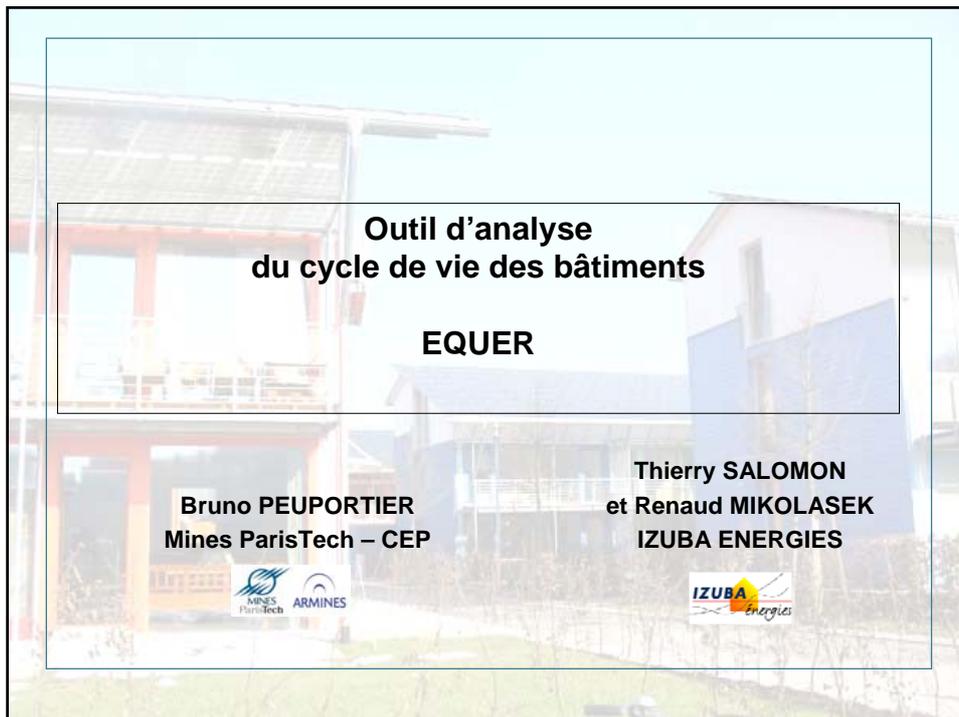
28

## Conclusions

- ▶ Possibilité d'utiliser la simulation en diagnostic
- ▶ Intérêt pour évaluer le potentiel d'économie d'énergie par différentes mesures d'amélioration
- ▶ Incertitude importante liée à certains paramètres inconnus (infiltrations et ouverture des fenêtres, composition des parois, rendement chaudière...)
- ▶ Possibilité d'atteindre la classe A (facteur 4 en CO<sub>2</sub>) par la combinaison de différentes mesures (vitrages, éclairage, régulation, double flux)
- ▶ Facteur 4 en énergie primaire si intégration de PV



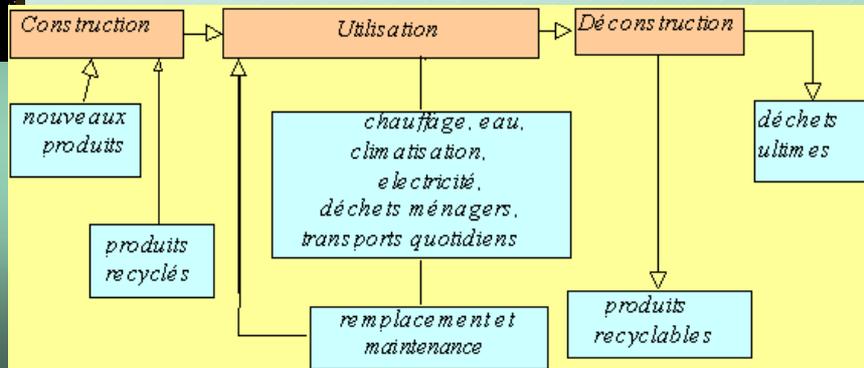
29



## Analyse de cycle de vie

- ▶ **Evaluation de différents indicateurs environnementaux (énergie, mais aussi eau, ressources, déchets, CO2, santé, biodiversité...)**
- ▶ **Phase d'utilisation, mais aussi de construction (fabrication des matériaux, transport, chantier), de réhabilitation (remplacement des composants) et de fin de vie (déchets, recyclage éventuel)**
- ▶ **Applicable en réhabilitation avec des adaptations**

## Logiciel EQUER : simulation du cycle de vie



Comptabilité des impacts année par année  
Compteur d'âge pour chaque composant

## analyse de cycle de vie (Logiciel EQUER)

The screenshot shows the EQUER software interface with the following input parameters:

- Distances:**
  - Distance domicile-commerce: 10000 m (Default: Urbain, Barlieu)
  - Distance au réseau de transport en commun: 5000 m (Default: Rural, Inali)
  - Distance domicile-travail: 10000 m
- Usagers:**
  - Nombre d'occupants/moyenne par logement: 3
- Mode de transport:**
  - Présence de pistes cyclables:
  - Mode des transports: [dropdown menu]
- Type de site:**
  - Urbain:
  - Barlieu:
  - Rural:
  - Site isolé:

Données supplémentaires à introduire :  
Eau, déchets, transports, matériaux

## Equer, exemple de données de cycle de vie

**Saisie caractéristiques**

Nom: Béton B25  
 Catégorie: Mat  
 Etape: FAB  
 Procédé: N  
 Unité: kg

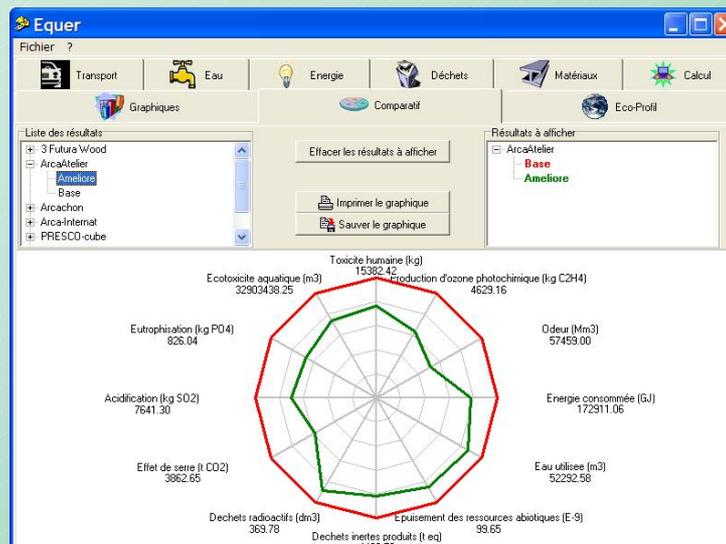
Effet de serre (kg CO2): 0.133000  
 Acidification (kg SO2): 0.000364  
 Energie consommée (MJ): 1.000000  
 Eau utilisée (l/eq): 0.688000  
 Déchets inertes produits (kg eq): 0.007630  
 Epuisement des ressources abiotiques (E-15): 0.240600  
 Eutrophication (kg PO4): 0.000046  
 Production d'ozone photochimique (kg C2H4): 0.000034  
 Ecotoxicité aquatique (m3): 0.000003  
 Déchets radioactifs (dn3): 0.000000  
 Toxicité humaine (kg): 0.000964  
 Odeur (m3): 0.000000

Base suisse Ecoinvent, R. Frischknecht et al.



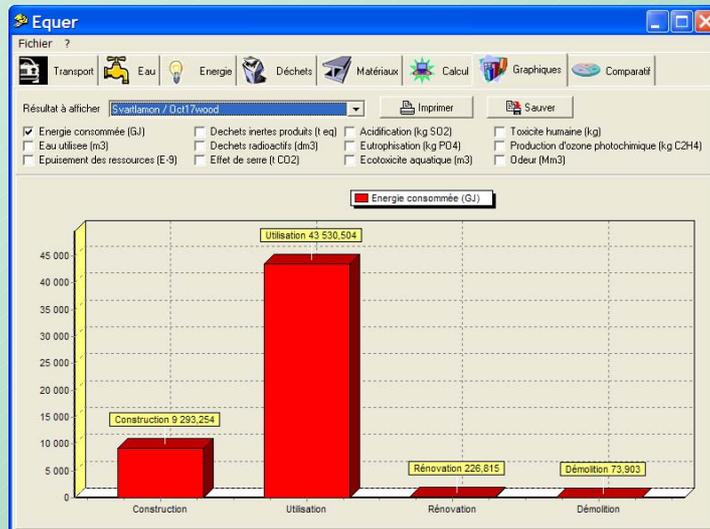
34

## EQUER, exemple de comparaison de variantes

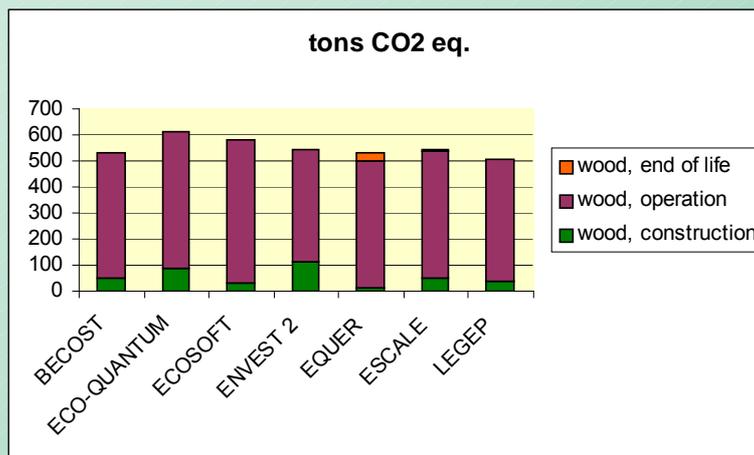


35

## Contribution des différentes phases



## Comparaison d'outils ACV européens



**Maison suisse ossature bois, chauffage gaz, 80 ans**  
**Écart ± 10% sur le cycle de vie**



## Contexte

- ▶ **Projet européen REGEN LINK, démonstration ENR et URE pour la réhabilitation des logements sociaux**
- ▶ **8 sites : Amsterdam, Madrid, Randers (DK), Montreuil, Dublin, Göteborg (S), Szczecin (PI), Londres**
- ▶ **Organismes de logements sociaux (OPHLM de Montreuil), aide CE = 35% des surcoûts**
- ▶ **Consultants ou centres de recherche : études et suivi (un an de mesures), aide CE + ADEME = 70%**

## Bâtiment avant réhabilitation



*Construction : 1969, non isolé, simple vitrage*  
*Besoins de chauffage : 160 kWh/m<sup>2</sup>/an*

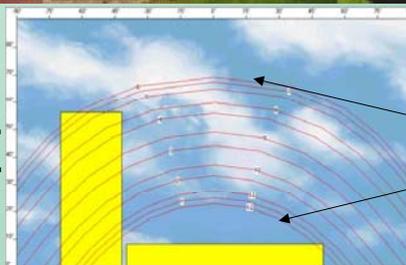


40

## Etude des masques, exposition des façades



hauteur  
0° = horiz.  
90° = vert.



azimut, 0° = sud  
90° = ouest

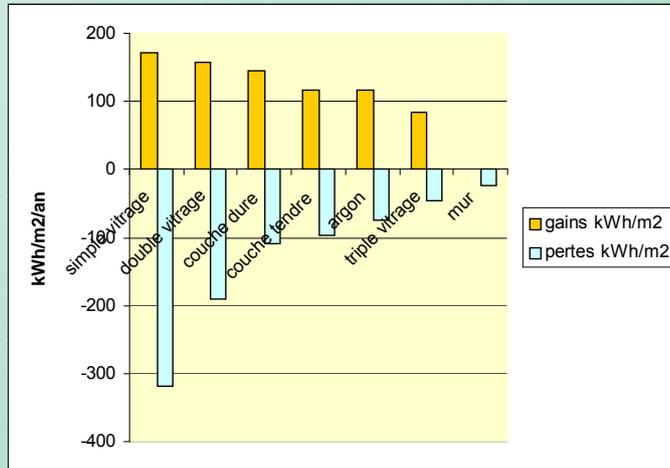
Juin

Décembre



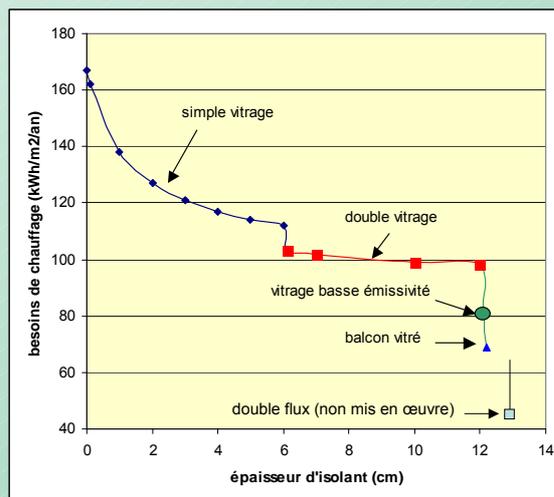
41

## Evolution des vitrages



50% de la façade étant vitré, le choix des vitrages est essentiel  
 Basse émissivité et lame d'argon préférable,  
 bilan global pertes / apports -> couches dures au sud

## Résultats de l'analyse thermique, COMFIE



Pas d'aide régionale -> abandon du double flux et de l'ecs solaire

## Participation des habitants

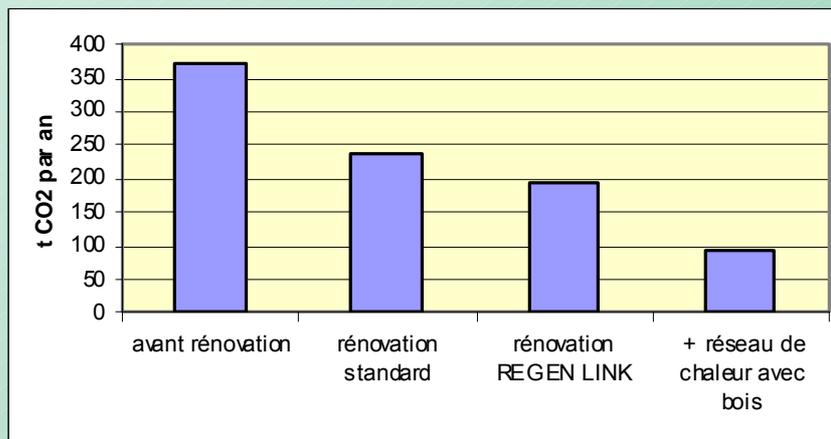


### Balcons vitrés



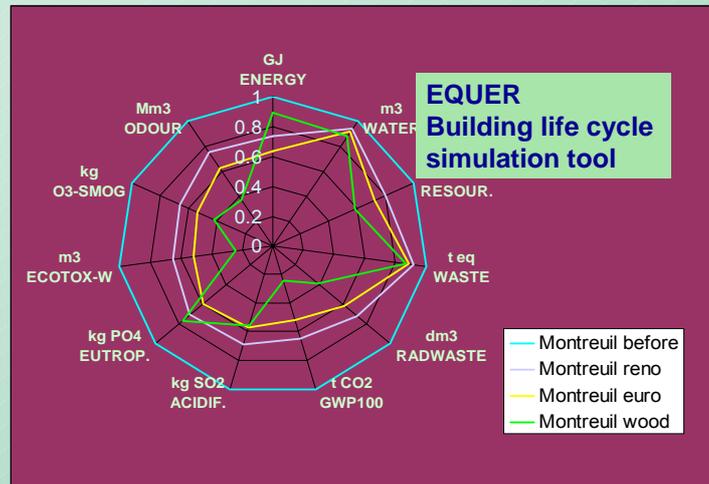
Surfaces des vitrages  
Maîtrise de la demande  
d'électricité  
Ateliers de quartier

## Résultats de l'analyse de cycle de vie, EQUER



### Bilan des émissions de CO2

## Résultats de l'analyse de cycle de vie, EQUER



Référence : avant rénovation (before), Comparaison de 3 variantes :  
Rénovation standard (reno), améliorée par le projet européen (euro)  
et alimentation du réseau de chaleur en bois énergie (wood)



46

## Bâtiment après rénovation

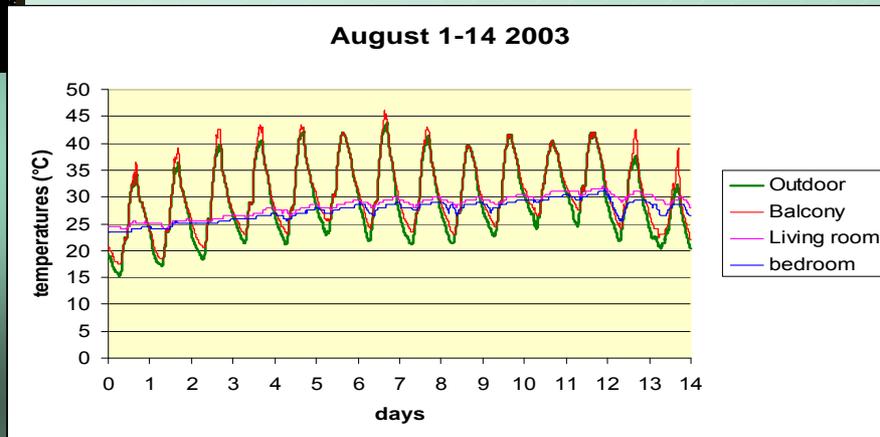


Besoins de chauffage : - 32% et non -50% car températures logements +3°C (de 20°C à 23°C), action en cours de l'OPHLM  
Emissions : - 76 tonnes CO<sub>2</sub> par an



47

## Canicule 2003



Écart de 10°C entre extérieur et intérieur grâce à la forte inertie  
L'isolation thermique protège du froid mais aussi du chaud

## Bilan économique

- ▶ **coût de l'opération : 265 000 € + démonstration  
185 000 €, 5000 €+ 3 500 €par logement**
- ▶ **temps de retour global : 15 ans**
- ▶ **certaines technologies plus rentables que d'autres :**
  - Vitrages à basse émissivité et lame d'argon (+++ : 2 ans)
  - pommes de douche à débit réduit (+++)
  - Ventilation hygro-réglable (++)
  - Isolation plus épaisse ( 20 ans )
  - Balcons vitrés
  - Eau chaude solaire

## Conclusions

- ▶ Démarche d'éco-conception applicable également en réhabilitation
- ▶ Complète les check list (labels) en intégrant les aspects globaux, interactions entre composants
- ▶ Plus efficace si objectifs environnementaux dans le programme et mise en œuvre en amont (conception intégrée)
- ▶ Coût global -> rentabilité accrue avec l'augmentation du prix des énergies