

ICEB café, 25 novembre 2008

Eco-conception des bâtiments, méthode EQUER

Bruno PEUPORTIER
Mines ParisTech – CEP



Plan de la présentation

- ▶ Rappel de la méthode (cf. ICEB café précédent)
- ▶ Liens avec d'autres approches (INIES, outils européens...)
- ▶ Nouveaux développements et améliorations
- ▶ Etudes de cas :
 - Maisons passives à Formerie
 - Réhabilitation HLM à Montreuil
 - Quartier Lyon Confluence
- ▶ Conclusions et perspectives



éco-conception

- ▶ Prendre en compte les aspects environnementaux dans la conception
- ▶ 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
- ▶ Approche d'ingénieur qui peut être appliquée aux bâtiments, également par des architectes



2

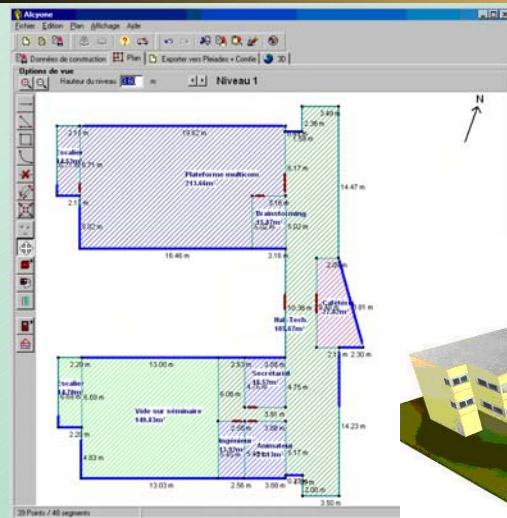
Outil de travail : analyse de cycle de vie

- ▶ Définition du système (bâtiment, transport ?)
- ▶ Phase d'inventaire, substances émises et puisées dans l'environnement
 - Matières premières, combustibles...
 - Émissions dans l'air
 - Émissions dans l'eau
 - Émissions dans le sol, déchets
- ▶ Calcul d'indicateurs environnementaux (ex. eq. CO₂)
- ▶ Interprétation des résultats, comparaison de variantes architecturales ou techniques

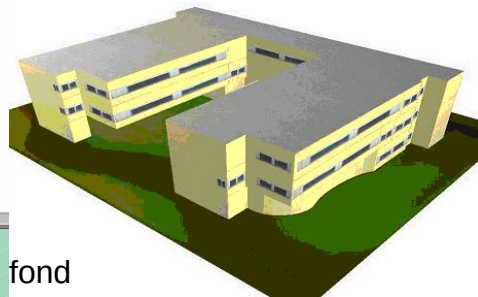


3

Méthode EQUER



1^{ère} étape
Description 2D – 3D
Logiciel ALCYONE
cf. www.izuba.fr

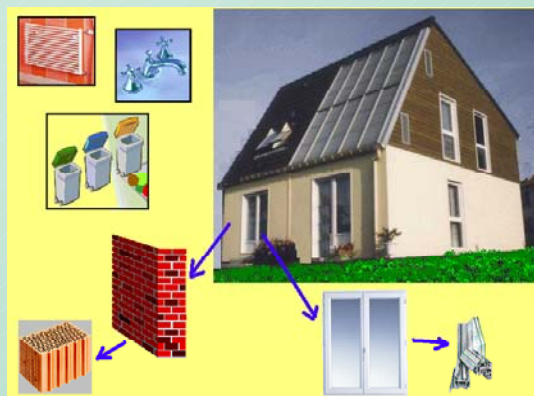


Plan autocad en image de fond



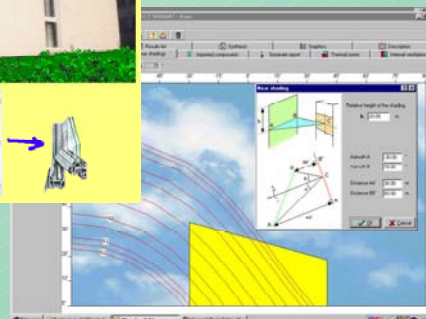
4

Modélisation du bâtiment, interface Pleiades



Description du
site et du climat

Choix des matériaux
et composants

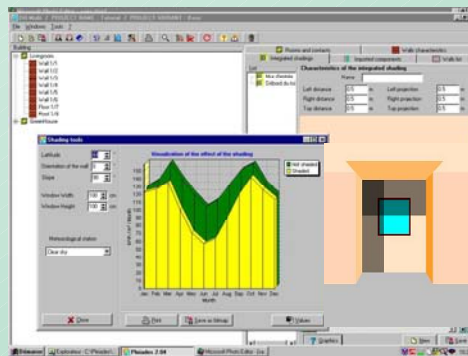


+ scénario d'usage (logements, bureaux, école...)



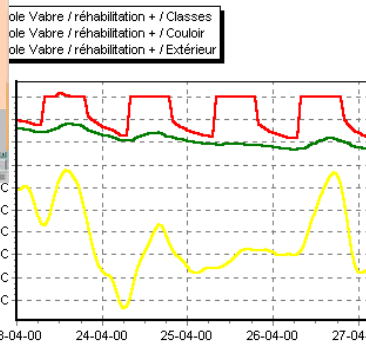
5

Simulation thermique, logiciel COMFIE



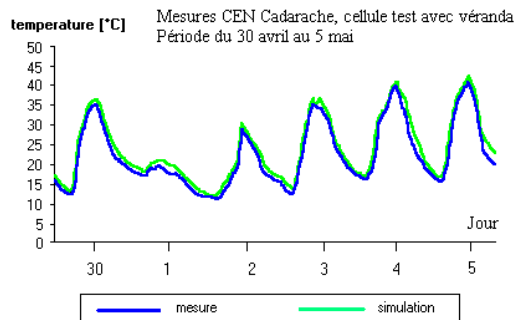
*Besoins de chauffage
et de rafraîchissement*

*Profils de
température*



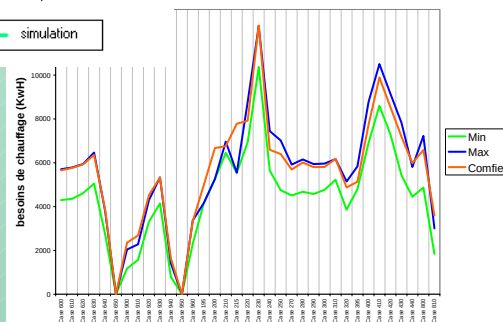
6

Validation du modèle



Comparaison
avec des mesures,
par exemple cellule-
test avec véranda
au CEN-Cadarache

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



7

Equer, données complémentaires



Durées de vie, consommation d'eau, déchets, transport...

8

Equer, base de données d'ICV

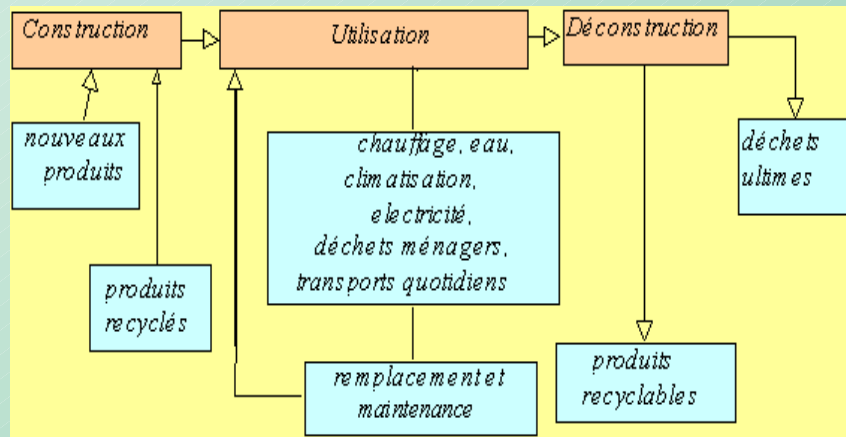
Caractéristiques	Valeur	Unité
Effet de serre (kg CO2)	0.133000	
Acidification (kg SO2)	0.000364	kg
Energie consommée (MJ)	1.000000	m2
Eau utilisée (l/litre)	0.688000	m2
Déchets inertes produits (kg eq)	0.007630	m2
Épuisement des ressources abiotiques (E-15)	0.240600	kg
Eutrophication (kg PO4)	0.000046	kg
Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	0.000034	kg
Ecotoxicité aquatique (m3)	0.000003	kg
Déchets radioactifs (dn3)	0.000008	kgm
Toxicité humaine (kg)	0.000964	kgm
Odeur (m3)	0.000000	kg



Base Oekoinventare 1996 (ETHZ) puis www.ecoinvent.ch

9

EQUER : simulation du cycle de vie



Calcul par pas de temps d'un an sur une durée d'analyse, 80 ans par exemple



10

EQUER, résultats

Equer
Fichier 2
Transport | Eau | Energie | Déchets | Matériaux | Calcul | Comparatif

Durée de l'analyse: 80 ans
Lancer le calcul
Résultat à afficher: [dropdown menu]
Equality console
Equer console

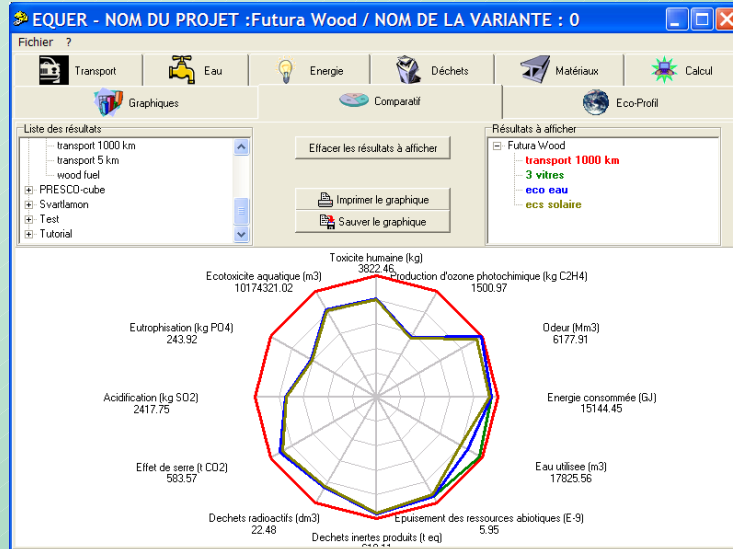
Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total
Énergie consommée (MJ)	1010491.46549	36280678.88702	319335.12472	111654.34319	37722159.82042
Eau utilisée (m³)	940.97307	55194.76972	3511.86744	2159.00561	61806.61584
Utilisation des ressources abiotiques	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	0.00000
Déchets stériles produits (t eq)	60858.24260	42.73526	16601.10105	591113.34123	668615.42014
Déchets radioactifs (dn3)	0.21719	0.08402	0.00086	0.00042	0.30249
Effet de serre (kg CO2)	113903.78428	279082.45213	14912.05492	11638.59898	419536.89031
Acidification (kg SO2)	528.28276	753.09125	48.73926	45.75189	1375.86516
Eutrophication (kg PO4)	70.65370	64.86307	6.34764	8.34295	150.20726
Écotoxicité aquatique (m3)	1836042.29954	5428963.49935	521158.06157	359811.60214	8145975.46260
Toxicité humaine (kg)	205773184.20386	963.61531	411545124.88232	64.00529	617319336.70678
Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	457.92271	392.19398	27.92867	48.25344	926.29880
Odeur (m3)	418249687.33301	3924453154.07812	12723086.42888	4484683.18819	4359910611.02820



12 indicateurs environnementaux pour les 4 phases

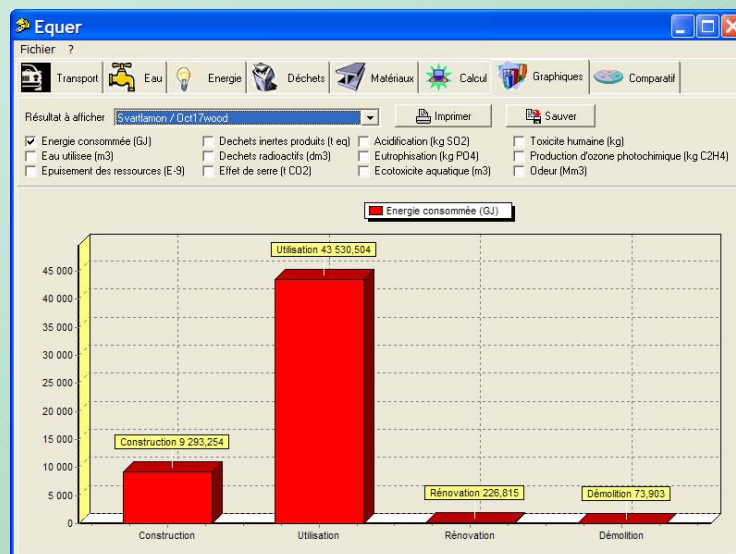
11

EQUER, comparaison de variantes



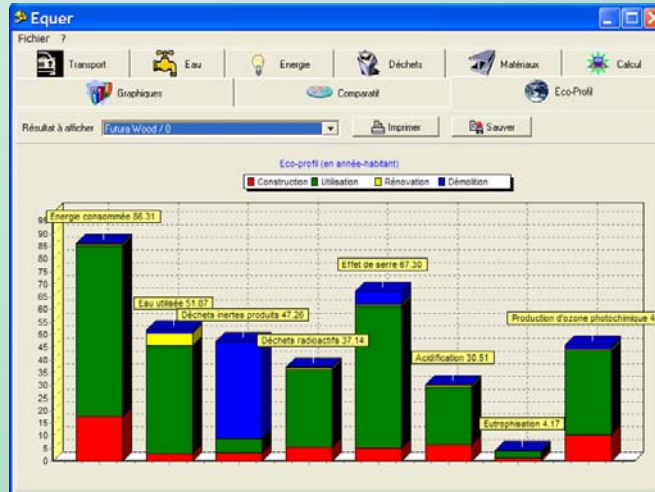
12

Contribution des différentes phases



13

EQUER, exemple d'éco-profil

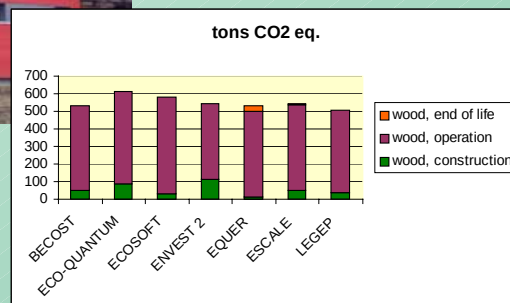


Unité commune à tous les indicateurs :
Équivalent-habitant-année



14

Comparaison d'outils ACV européens (PRESCO)



Maison suisse ossature bois, chauffage gaz, 80 ans
Écarts +/- 10% sur le cycle de vie



15

Travaux européens en cours

- ▶ **PRESCO** -> identification de différences entre méthodes -> besoin d'harmonisation
- ▶ **ENSLIC** : état de l'art, propositions d'harmonisation et diffusion des connaissances
- ▶ Normes ISO (cadre général) et CEN (indicateurs faisant consensus)
- ▶ **LORE-LCA**, démarrage en 2009, recherches sur les points durs (bilan CO₂ du bois, recyclage...), validation des simplifications, aide à l'interprétation



16

Base INIES : www.inies.fr

- ▶ Essai pour constituer une bibliothèque compatible avec EQUER à partir de la base INIES
- ▶ Problème des unités fonctionnelles, par ex. 1 m² de mur béton épais de 12 cm <-> 1 kg de béton
- ▶ Simplification des inventaires, exemple : dioxines
- ▶ Pas de procédé (chauffage, etc.), fin de vie non modélisée (incinération, recyclage), transport fixe
- ▶ Pas de calcul matriciel (interactions entre secteurs)
- ▶ -> discussions en cours dans le projet COIMBA



17

Points forts et limites

- ▶ Validation et inter-comparaison, mais incertitudes sur certains indicateurs (toxicité par exemple)
- ▶ Données génériques pour le moment
- ▶ Interface utilisateurs conviviale -> quelques journées de travail pour une étude, compatible avec la pratique professionnelle mais nécessite une expertise (2 jours de formation)
- ▶ Outil diffusé (2000 licences Pleiades) mais encore peu d'exigences de performance ACV dans les programmes, complexité du multi-critères / CO₂



18

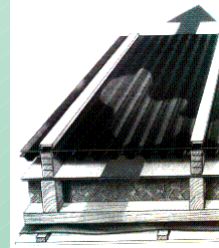
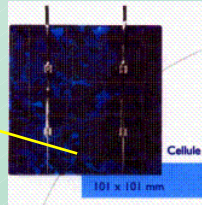
Nouveaux développements et améliorations

- ▶ Nouveaux composants : puits « canadiens », solaire thermique et photovoltaïque, pompes à chaleur et micro-cogénération, MCP (en cours)
- ▶ Travaux sur les mouvements d'air (infiltrations, ventilation naturelle en particulier l'été)
- ▶ Chaînage avec des calculs d'éclairage (Radiance)



19

Photovoltaïque intégré aux bâtiments



Production d'électricité en fonction de la température, donc du mode d'intégration au bâti (modules ventilés, extérieurs ou couverture véranda...)

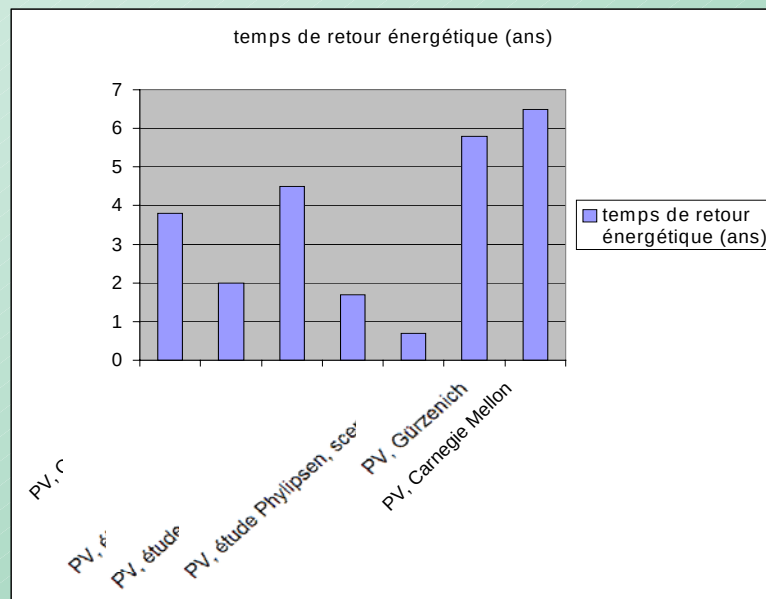
Production d'électricité et de chaleur si PV hybride

Collecte de données d'analyse de cycle de vie



20

ACV des systèmes photovoltaïques, résultats



21

Echangeurs air / sol (« puits canadiens »)



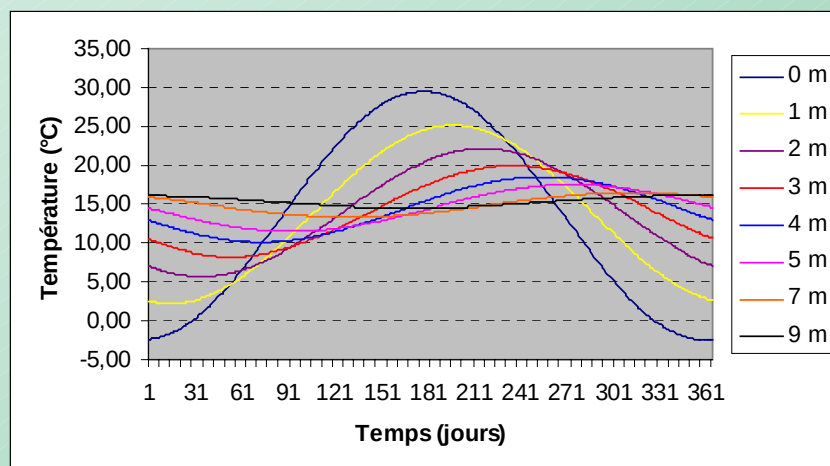
Maison de retraite à
Presles (95), 2004
Modèle de sol, collab.
avec INSA Toulouse
Maillage
Simulation dynamique

Salle de 240 m²
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)



22

Modélisation du sol

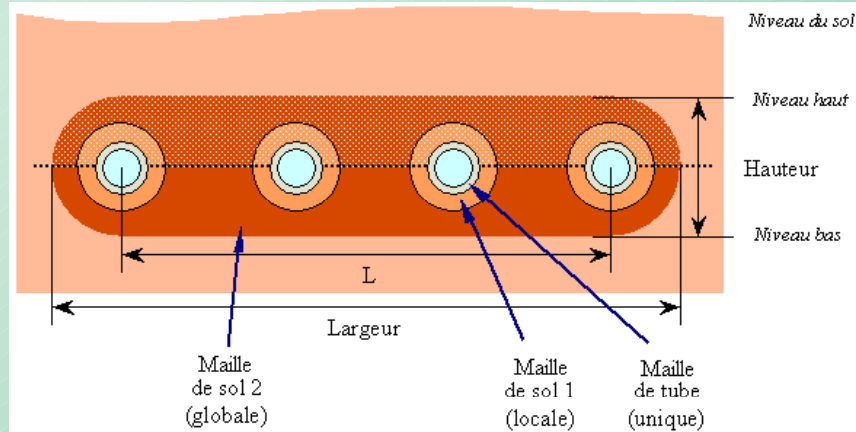


Approximation sinusoïdale, massif semi-infini



23

Maillage du système étudié (sol + tubes enterrés)



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



24

Nouveaux indicateurs d'ACV

- ▶ Objectif : progresser vers l'évaluation des dommages
- ▶ Toxicité : années de vie perdues, équivalence pour différents handicaps -> un seul indicateur : DALY (Disability adjusted Life loss years)
- ▶ Eco-toxicité : % d'espèces disparues sur une surface de territoire et sur une certaine durée : PDF x m2 x an (percentage disappeared fraction of species)
- ▶ Energie primaire, nouvelles conventions
- ▶ Epuisement des ressources : eq. Antimoine pour éviter les très petites valeurs (quantité / réserves -> 10^{-16})



25

Indicateurs dérivés de modèles

- ▶ Émissions, compartiments écologiques, transport, (bio)dégradation -> PEC, transferts (air,eau,nourriture), dose, effet (1/concentration seuil, ex. PNEC)
- ▶ 180 substances, concentration de fond -> 46 substances (modèle EUSE)
- ▶ échelle de temps,interactions, ...
- ▶ Modèles orientés effets : DALY (Disability adjusted Life loss years), PDF x m2 x an (percentage disappeared fraction of species)



26

Actualisation de la base de données

- ▶ Ecoinvent 2003 puis 2007
- ▶ Données plus précises, mais base payante (1500 €)
- ▶ Nécessité de contextualiser certaines données (pour les données correspondant à une production en Suisse, mix de production à changer)



27

Bois et stockage de CO₂

- ▶ Photosynthèse (simplification) :
- ▶ $8.4 \text{ CO}_2 + 12 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_{8.4}\text{H}_{12}\text{O}_{5.4} + 8.7 \text{ O}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O}$
- ▶ 1.85 kg CO₂ pour 1 kg de bois
- ▶ Procédés : plusieurs kg pour 1 kg final, tronçonneuse, transport, séchage, scie
- ▶ potentiel de réchauffement global : entre -1.44 et -1.7 kg CO₂ par kg de produit final
- ▶ Fin de vie : incinération : +1.47 kg CO₂, décharge : +0.0036 kg CO₂
- ▶ Stockage sur la durée de vie



28

Exemple d'application : Formerie (Oise)

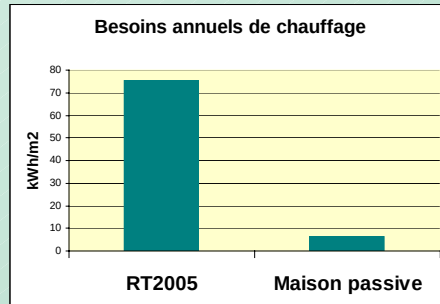


2 maisons passives, Oise, 2 x 135 m²
Entreprise : Les Airelles



29

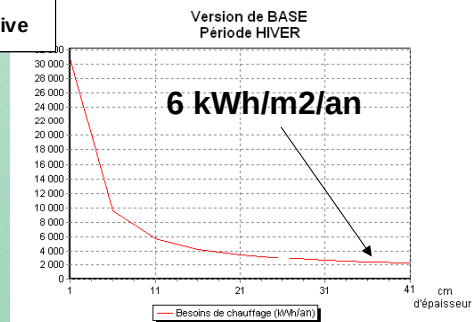
Résultats des simulations, hiver



Comparaison à la référence RT2005 avec la même géométrie

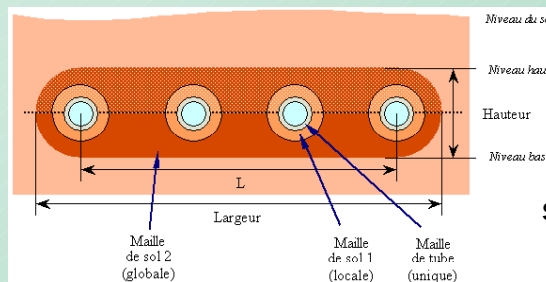
Chauffage à 19°C

Variation des besoins de chauffage en fonction de l'épaisseur d'isolation



30

Résultats des simulations, été (canicule 2003)

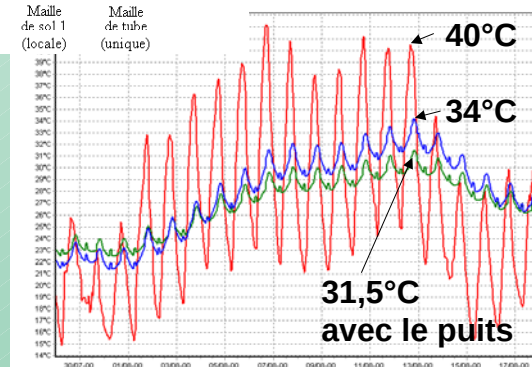


Modélisation du puits canadien

sans climatisation :

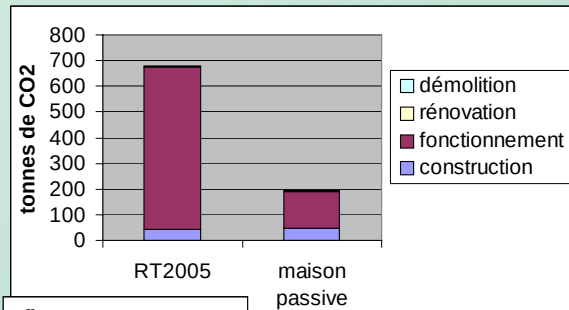
Températures en période caniculaire, degrés-jours >27°C divisés par 2 avec le puits canadien

**Climatisation :
2,5 kWh/m²**



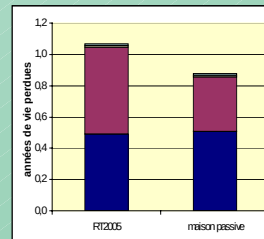
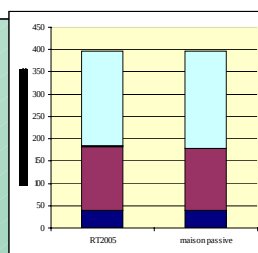
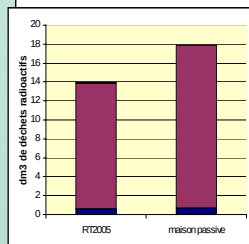
31

Résultats de l'analyse de cycle de vie



**2 maisons
Sur 80 ans**

**Comparaison
à la référence
RT2005 avec
chauffage gaz**



Intérêt de l'énergie positive

32

Bâtiment HLM à Montreuil



*Construction : 1969, non isolé, simple vitrage
Besoins de chauffage : 160 kWh/m²/an*



33

Analyse du site, exposition des façades



Cette façade se prête-t-elle à la valorisation solaire ?

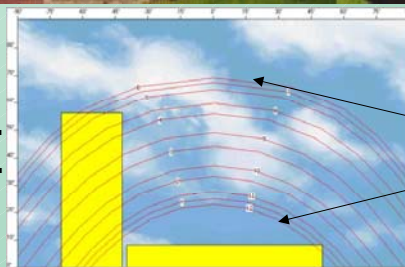


34

Etude des masques, exposition des façades



hauteur
 0° = horiz.
 90° = vert.



azimut, 0° = sud
 90° = ouest

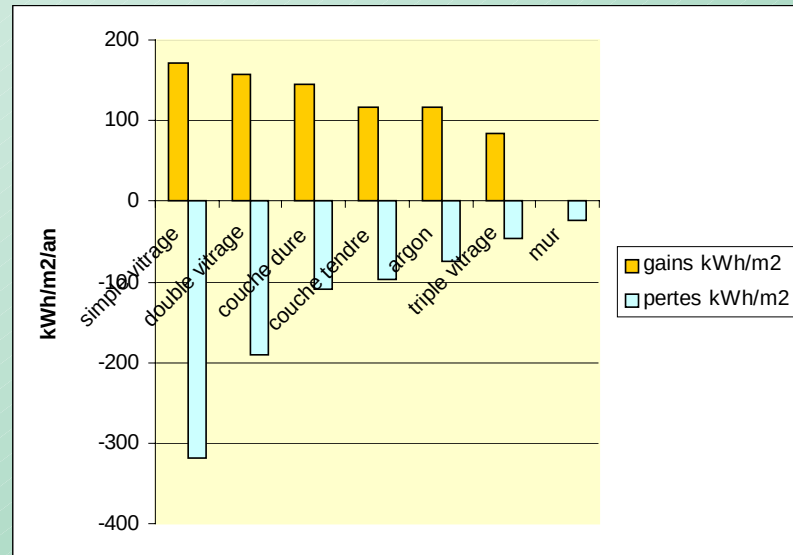
Juin

Décembre



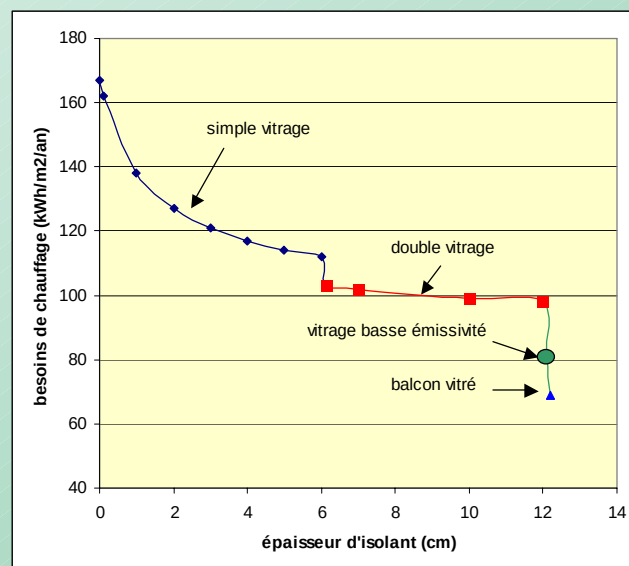
35

Evolution des vitrages



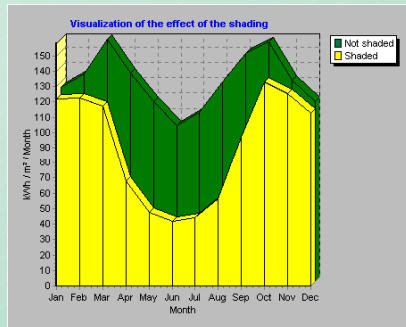
36

Résultats de l'analyse thermique

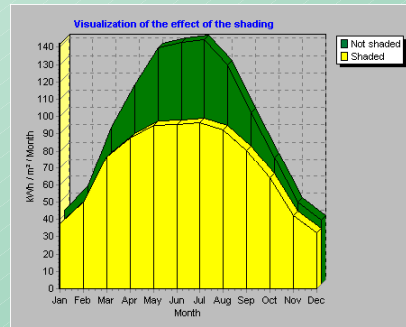


37

Orientation des façades

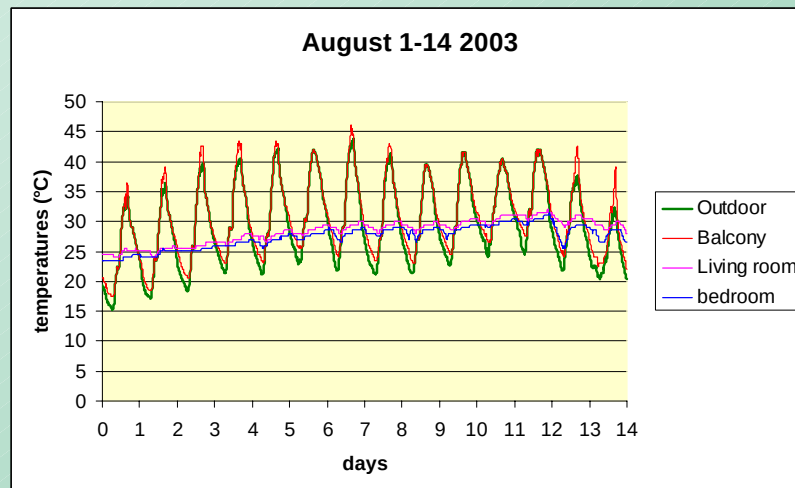


Façade sud

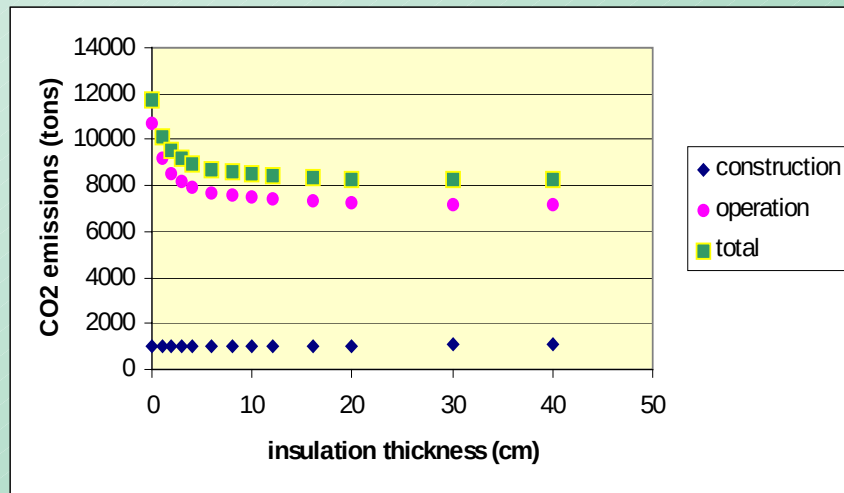


Façade ouest

Eté 2003

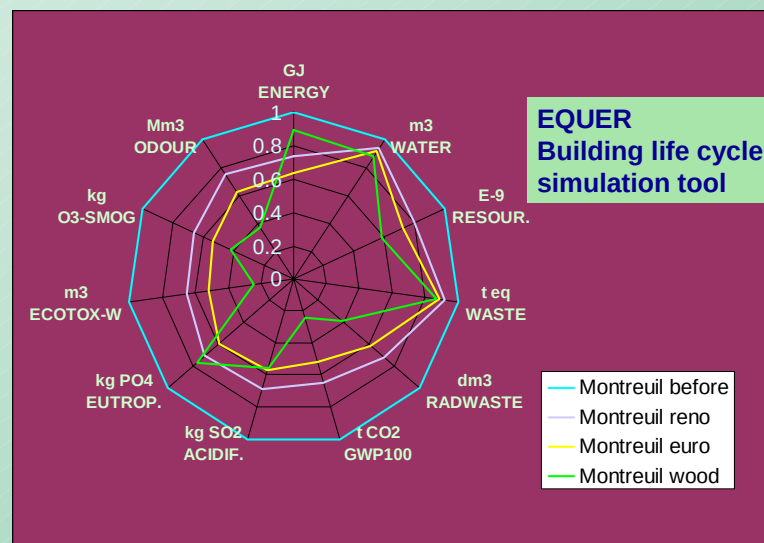


Epaisseur d'isolation



40

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



41

Bâtiment après rénovation



Besoins de chauffage réduits de 32%



42

Projet européen SOLANOVA, Hongrie



Ventilation double flux
Traitement des ponts thermiques
Consommation de chauffage
mesurée : 39 kWh/m²/an
(réduction d'un facteur 4)



43

Projet européen e-co-housing



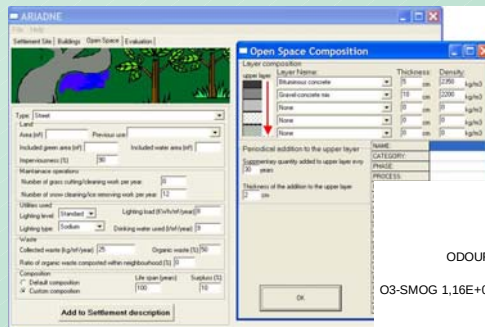
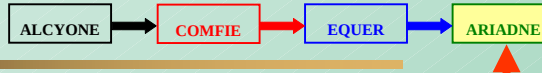
Montreuil (arch. J. Brûlé)

Trondheim (Norvège)

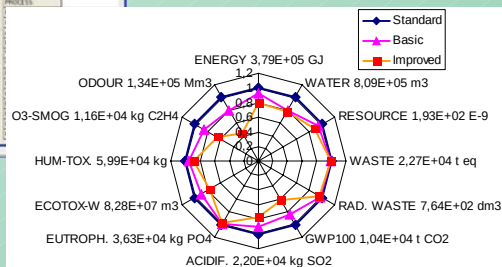


44

ARIADNE



Comparaison d'alternatives



Projet	Besoins de chauffage KWh/m2/an	Energie primaire GJ/m2/an	Emissions de CO ₂ kg CO ₂ /m2/an
Svartlamon	60	0.78	4
Montreuil	50	1.25	30
Dunaujvaros	30	0.93	35



45

Exemple d'application : Lyon Confluence



Îlots A, B et C, environ 60 000 m² de logements et 15 000 m² de bureaux, 70 000 m² d'espaces verts, rues, quais...

Quelle est la performance environnementale de ce projet, pourrait-on l'améliorer ?



46

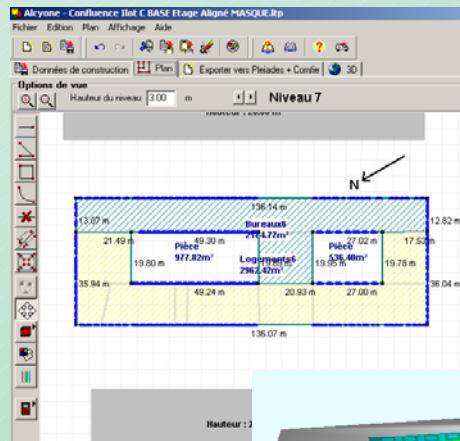
Démarche adoptée

- ▶ Standard actuel : réglementation thermique, matériaux et techniques usuels
- ▶ Projet, selon les objectifs du programme européen CONCERTO : RT 2000 – 40%, 80% de chaleur et 50% d'électricité (parties communes) par ENR
- ▶ Meilleures pratiques : sur-isolation, triple vitrage, traitement des ponts thermiques, double flux (« maisons passives »)



47

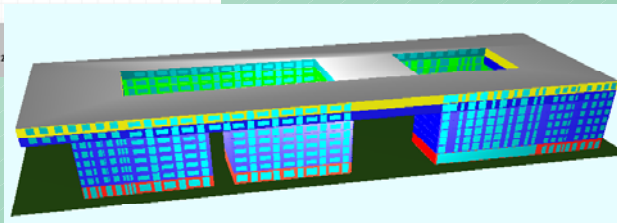
Modélisation des bâtiments, logiciel ALCYONE



www.izuba.fr

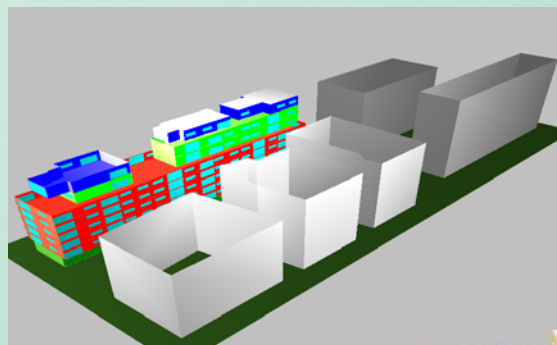
plans par niveaux

-> vue 3D

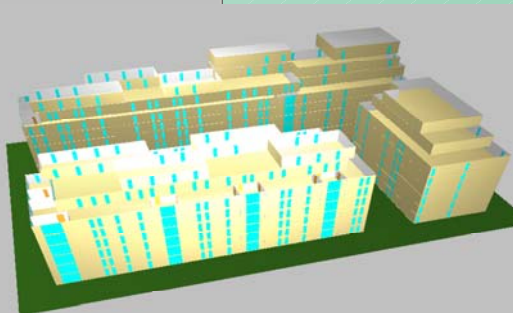


48

3 îlots, 20 bâtiments

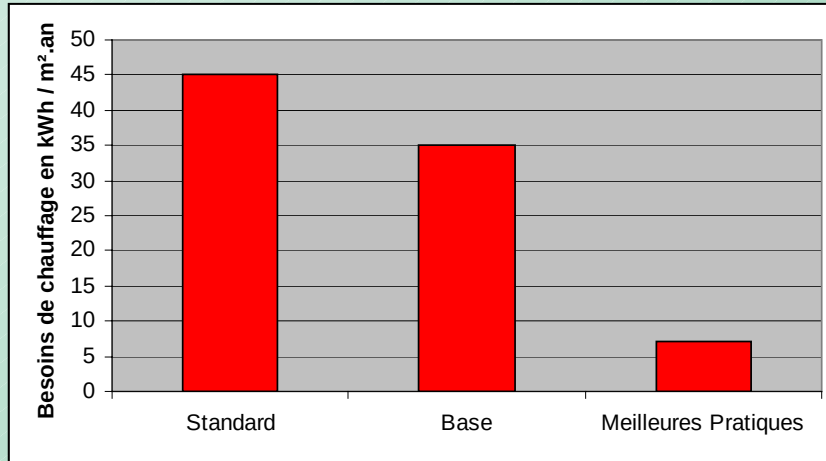


Prise en compte
des masques
générés par les
bâtiments
adjacents



49

Résultats de l'analyse thermique, logiciel COMFIE



**Moyenne sur l'ensemble des bâtiments
Variation de 1 à 3 selon l'architecture
(bâtiments 1 et 10 de l'îlot B, mêmes technologies)**



50

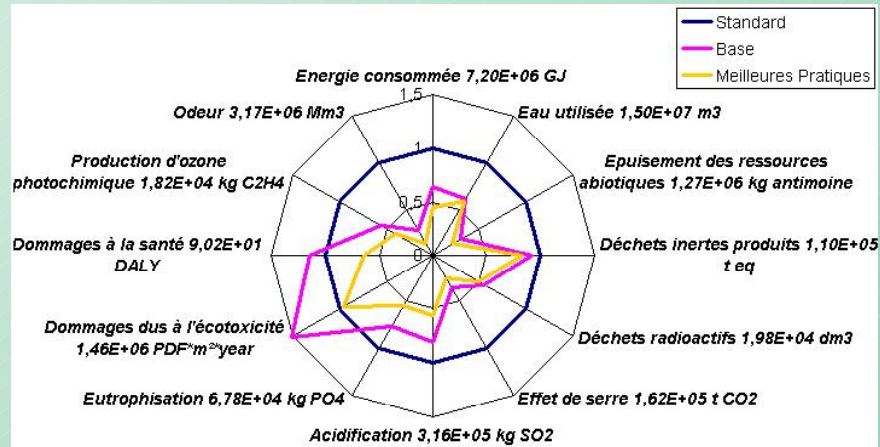
Principales hypothèses de l'analyse de cycle de vie

- ▶ Variante standard chauffée au gaz, 80% bois et 20% gaz dans les 2 autres variantes
- ▶ Électricité du réseau en standard, 50% photovoltaïque dans les 2 autres variantes
- ▶ 40% d'économie d'eau et 40% ECS solaire
- ▶ Éclairage public au sodium
- ▶ Quais et dalle ouest de l'îlot C plus perméables
- ▶ Rétention de 90% des eaux pluviales, utilisation pour l'arrosage des espaces verts



51

Résultats de l'analyse de cycle de vie



Base : impacts environnementaux réduits sauf éco-toxicité et toxicité humaine (chaudière bois)
Meilleures pratiques, réduction de tous les impacts



52

Conclusions

- ▶ Pas de « HQE » sans performance énergétique, intérêt des ENR
- ▶ Matériaux deviennent importants (30 kWh/m²), évaluation par bilan sur le cycle de vie
- ▶ Quelques outils, incertitudes, encore peu de données françaises fiables
- ▶ Santé : encore plus de lacunes
- ▶ Intégrer des niveaux de performance dans les programmes, ex. Lyon Confluence (CO₂ et déchets radioactifs)



53

Bibliographie

- ▶ La maison des négawatts, T. Salomon et S. Bedel, Terre Vivante, 1999
- ▶ Guide de l'habitat sain, S. et P. Déoux, Medieco, 2004
- ▶ L'architecture écologique, Dominique Gauzin-Müller, Ed. Le Moniteur, 2001
- ▶ Guide de l'architecture bioclimatique (tomes 1 à 5), Observ'ER, 1996-2003
- ▶ Eco-conception des bâtiments et des quartiers, B. Peuportier, Presses de l'EMP, 2008



54

Supported by

Intelligent Energy



Europe

Training for Renovated Energy Efficient Social housing (TREES)



site web : <http://www.cep.ensmp.fr/trees/>

Matériel pédagogique (transparents et textes) :

- Techniques (isolation, vitrages, ventilation, solaire, équipements)
- Outils (calculs thermiques, ACV, coûts...)
- Etudes de cas (Allemagne, Suède, Norvège, Pays Bas, Hongrie et France)



55