

**ICEB café du 27 octobre 2009
Maison de l'Architecture**

Energie « grise »

**Bruno PEUPOORTIER
Mines ParisTech – CEP**



Introduction

- ▶ **Question souvent posée : l'énergie produite par un capteur solaire est-elle supérieure à l'énergie nécessaire pour le fabriquer ?**
- ▶ **Concept d'énergie « grise », liée au cycle de vie d'un produit (fabrication, utilisation, fin de vie et recyclage éventuel)**
- ▶ **Énergie qui « passe inaperçu » (pas de facture), ex : énergie pour fabriquer la chaudière**
- ▶ **Méthode utilisée pour répondre à la question : analyse de cycle de vie, démarche d'éco-conception**



éco-conception des bâtiments

- ▶ 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 ultimes, qualité de l'air...)
- ▶ Liens environnement-santé
- ▶ Eviter les approches mono-critères



2

Série 14040 (ACV)

- ▶ 14040 : principes généraux (1997, 2006)
- ▶ 14041 : définition des objectifs, inventaire (1998)
- ▶ 14042 : évaluation des impacts (2000)
- ▶ 14043 : interprétation (2000)
- ▶ 14044 : regroupe les 3 précédentes (2006)



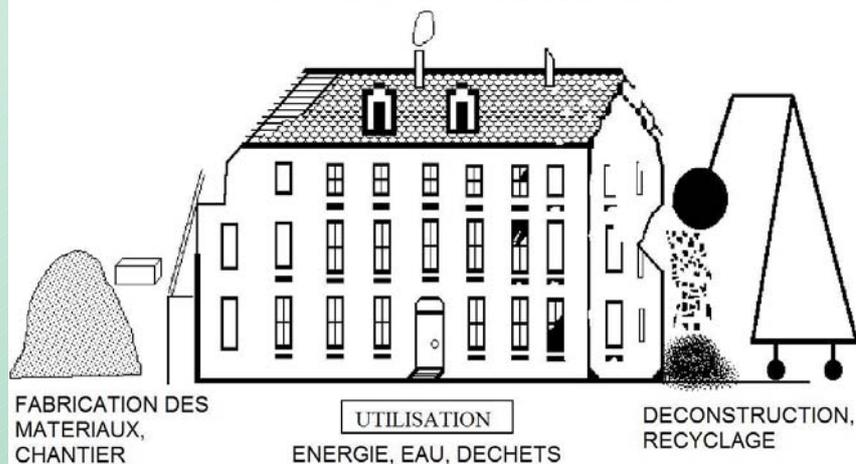
3

Normes AFNOR

- ▶ P 01-010 : information sur les caractéristiques environnementales des produits de construction
- ▶ P 01-020 : caractéristiques environnementales et sanitaires des bâtiments
- ▶ P 01-030 : management environnemental

Analyse de cycle de vie

CYCLE DE VIE D'UN BÂTIMENT



Etapes d'une ACV

- ▶ Définition des objectifs
- ▶ Unité fonctionnelle
- ▶ Frontières du système
- ▶ Hypothèses : énergie, transport, recyclage
- ▶ Calcul de l'inventaire
- ▶ Agrégation (thèmes environnementaux)
- ▶ Normalisation -> écoprofil
- ▶ Interprétation des résultats



6

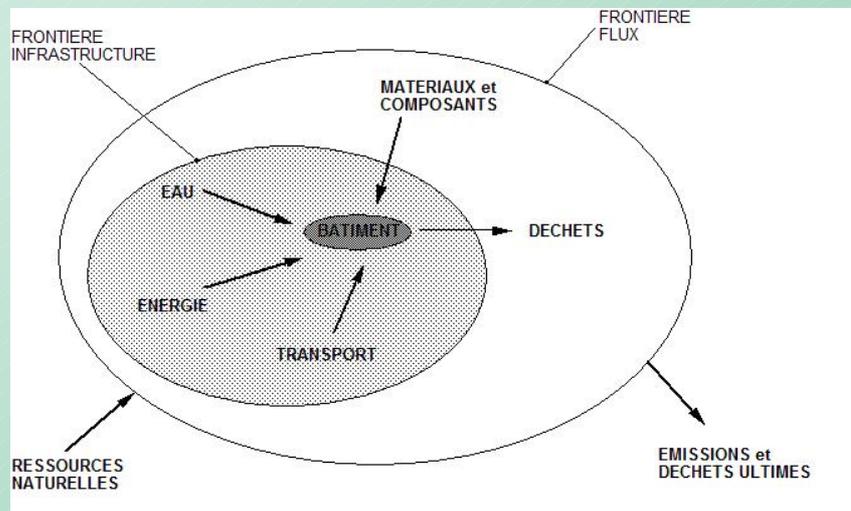
Unité fonctionnelle

- ▶ Quantité : ex. 1 m² de bâtiment
- ▶ fonction : ex. logement
- ▶ qualité de la fonction : ex. confortable, 20°C à 26°C, clair, calme, ventilé,...
- ▶ temps : ex. 1 an



7

Les frontières dépendent de l'objectif de l'étude

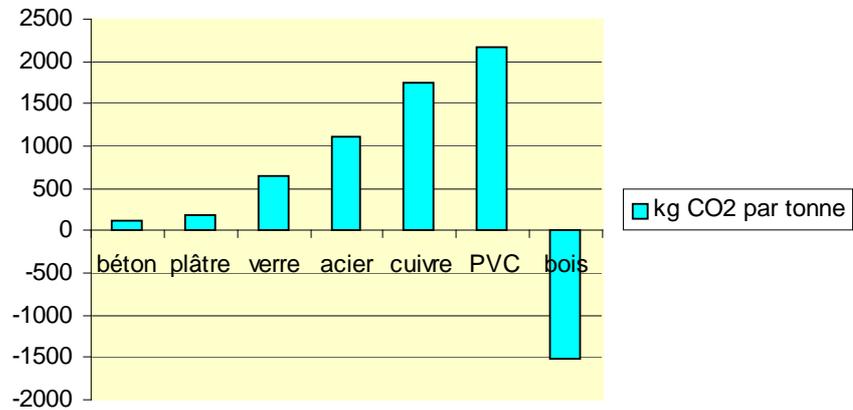


Hypothèses

- ▶ **Energie** : mix de production d'électricité, différences selon les usages (chauffage, ecs, éclairage, froid, autres usages), mix spécifique (différents fournisseurs/tarifs) ou moyen, national ou européen, variation dans le temps, valeurs moyennes ou marginales
- ▶ **Transport** : retour à vide des camions ou gestion optimisée, prise en compte des infrastructures
- ▶ **Recyclage** : début et fin de vie, stocks ou impacts évités, boucle ouverte ou fermée

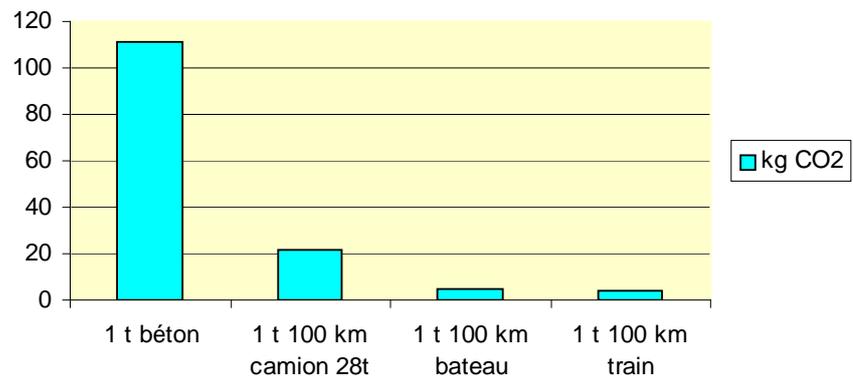
Exemples de matériaux

Emissions de CO2 pour la production des matériaux



Transport des matériaux

Emissions de CO2 pour le transport des matériaux



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

Inventaire du kWh gaz

Intrants	Phases	Sortants
eau, élec., diésel, acier, béton	Exploration et extraction forage : 32 à 62 10-7 m tubes/m3 compression, transport	CO ₂ , mercure, CO, NO _x , SO ₂ , CH ₄ , COVNM, radon
aluminium, acier, béton, transport, diésel	Préparation séchage, séparation du fioul et CxHy, désulfuration	NO _x , COV, CO, particules, fuites
acier, sable, transport	Transport longue distance (70 bar) distances de transport (NL, CEI,...) turbines de compression, fuites	CO ₂ , NO _x , CO, CH ₄ , COVNM, N ₂ O, SO ₂
acier, polyéthylène, bitume, sable, ciment, béton, transport, excavation	Distribution régionale (0,1 bar) canalisations enterrées (DV 40 ans)	fuites, déchets (canalisations remplacées), CO, NO _x
polyéthylène, acier	Distribution locale (< 0,1 bar) canalisations enterrées (plastiques)	fuites, remblai, déchets (canalisations remplacées)
gaz, électricité, eau, acier, aluminium, béton, laine minérale, cuivre, peinture, carton, polyéthylène, soudure, transport	Combustion type de chaudière : puissance, âge, bas NO _x , condensation fabrication, emballage, utilisation, traitement des déchets	SO ₂ , CO ₂ , NO _x , poussières, CO, CH ₄ , COVNM, dioxines, N ₂ O, mercure, formaldéhyde, déchets solides (béton, laine minérale, cuivre, peinture, carton, polyéthylène, soudure)

Exemple : base Oekoinventare, Ecole Polytechnique de Zürich

		Laine minérale	Manganèse	Minerai de Fer	Mousse dure PUR	NaCl	NaOH
Cd Cadmium m	kg	1.26E-10	5.65E-11	1.98E-11	4.14E-10	1.11E-10	8.94E-11
Cd Cadmium p	kg	1.96E-08	1.53E-08	1.15E-09	1.21E-08	3.61E-10	2.50E-09
Cd Cadmium s	kg	2.08E-08	1.05E-07	3.40E-09	8.81E-07	1.03E-08	2.32E-08
CF4 p	kg	1.70E-08	2.58E-07	1.21E-08	1.72E-07	5.31E-09	4.25E-08
CH3Br p	kg	0	0	0	0	0	0
CH4 Methan m	kg	9.74E-07	2.94E-06	6.66E-06	7.12E-06	3.51E-07	6.72E-07
CH4 Methan p	kg	0.00379	0.00929	0.000246	0.00871	0.000196	0.00153
CH4 Methan s	kg	1.41E-05	0.000116	3.25E-06	0.000176	4.88E-06	2.03E-05
CN Cyanide p	kg	3.60E-16	1.73E-15	1.41E-16	2.80E-08	2.88E-15	2.39E-15
CN Cyanide s	kg	1.56E-08	1.09E-08	9.56E-10	8.79E-09	2.24E-10	1.74E-09
Co Cobalt m	kg	6.74E-10	4.63E-09	7.27E-09	4.89E-09	1.01E-10	7.58E-10
Co Cobalt p	kg	1.56E-09	1.83E-09	3.06E-10	1.60E-09	6.12E-11	2.73E-10
Co Cobalt s	kg	4.03E-08	6.38E-07	6.63E-09	1.17E-06	1.24E-08	1.05E-07
CO Kohlenmonoxid m	kg	3.03E-05	7.73E-05	0.000139	0.000146	1.86E-05	2.50E-05
CO Kohlenmonoxid p	kg	0.0747	0.000314	7.71E-05	0.00774	7.58E-06	3.54E-05
CO Kohlenmonoxid s	kg	0.000453	0.00141	0.000126	0.00142	5.30E-05	0.000193
CO2 Kohlendioxid m	kg	0.0135	0.0412	0.0647	0.0699	0.0073	0.0114
CO2 Kohlendioxid p	kg	0.975	0.0342	0.00517	0.174	0.00161	0.00518
CO2 Kohlendioxid s	kg	0.39	5.03	0.0591	4.91	0.0854	0.809
Cr Chrom m	kg	5.32E-10	3.65E-09	5.74E-09	3.86E-09	7.99E-11	5.98E-10
Cr Chrom p	kg	3.88E-08	1.77E-08	3.18E-09	1.77E-08	7.04E-10	2.98E-09
Cr Chrom s	kg	2.76E-08	4.82E-07	4.51E-09	6.65E-07	1.14E-08	8.09E-08
Cu Kupfer m	kg	1.15E-07	3.44E-07	5.10E-07	8.11E-07	6.36E-09	5.56E-08
Cu Kupfer p	kg	1.11E-08	3.50E-08	1.64E-09	2.55E-08	8.37E-10	5.81E-09
Cu Kupfer s	kg	1.02E-07	1.03E-06	2.88E-08	1.82E-06	2.28E-08	1.71E-07
Cycloalkane p	kg	0	0	0	0	0	0
Dichlormethan p	kg	1.27E-09	4.11E-09	5.54E-11	1.16E-07	2.68E-11	3.80E-06
Dichlormonofluormethan p	kg	4.44E-08	3.17E-08	6.46E-09	3.07E-07	3.65E-08	5.43E-06



14

Base INIES : www.inies.fr

- ▶ **VRD - Assainissement - Aménagements Extérieurs**
- ▶ **Structure - Maçonnerie - Façades**
- ▶ **Couverture - Toitures-terrasses - Etanchéité**
- ▶ **Menuiseries extérieures**
- ▶ **Doublages - Cloisons – Plafonds - Isolants**
- ▶ **Revêtements de sol, Revêtements muraux et décoration**
- ▶ **Chauffage- Rafrâichissement - ECS - Régulation - Fumisterie**
- ▶ **Mais : simplification des inventaires, exemple : dioxines**
- ▶ **Pas de procédé (chauffage, etc.), fin de vie = décharge**
- ▶ **Pas de calcul matriciel (interactions entre secteurs)**
- ▶ **Un calcul global est nécessaire pour choisir un matériau**



15

Indicateurs, exemple : contribution au changement climatique



- ▶ *Potentiel de réchauffement global*
- ▶ *propriétés optiques des gaz*
- ▶ *équivalent CO₂, sur une durée, 100 ans*
- ▶ $GWP_{100} = kg\ CO_2 + 25 \times kg\ CH_4 + 300 \times kg\ N_2O + \sum GWP_i \times kg\ CFC\ ou\ HCFC_i$
- ▶ *effet (potentiel) et non impact (réel)*



16

Contribution à l'acidification



- ▶ **Potentiel d'acidification (eq. SO₂)**
- ▶ **Effet potentiel (concentration de fond)**
- ▶ **Sources : chaufferies (fuel, charbon), procédés**



17

Contribution à l'eutrophisation



- ▶ Potentiel d'eutrophisation (eq. PO_4^{3-})
- ▶ Phénomène naturel et dystrophisation
- ▶ Sources : eaux usées

Qualité de l'air et ozone



- ▶ ozone et altitude
- ▶ atteinte à la couche d'ozone (eq. CFC-11)
- ▶ Sources : climatisation
- ▶ smog d'été (formation d'ozone), eq. C_2H_4
- ▶ Sources : chaufferies, procédés

Méthode des volumes critiques

- ▶ **Concentration maximale tolérable : C_m / 95% des individus préservés (kg/m^3)**
- ▶ **volume critique : $\text{Emissions} / C_m$ (m^3)**
- ▶ **indicateur Ecotoxicité aquatique :**
 Σ volumes critiques (m^3 d'eau polluée)
- ▶ **idem pour écotoxicité terrestre**

Toxicité humaine

- ▶ **Dose : kg inhalé ou ingéré / kg**
- ▶ **respiration $20 \text{ m}^3/\text{jour}$, eau : $2 \text{ l}/\text{jour}$ poids : 70 kg**
- ▶ **population $P = 6$ milliards, $V_a = 3 \cdot 10^{18} \text{ m}^3$**
- ▶ **dose seuil D_s / 1 cancer pour 1000 ha soumis toute leur vie à cette dose ou / pas d'effet observé pour les maladies avec seuil**
- ▶ **indicateur = Σ émissions air / $V_a \times 20 \times P / D_s + \Sigma$ émis. eau / $V_e \times 2 \times P / D_s$**

Indicateurs dérivés de modèles

- ▶ Émissions, compartiments écologiques, transport, (bio)dégradation -> concentration, transferts (eau potable, nourriture) -> dose -> effet (risques)
- ▶ 100 000 substances commercialisées, quelques centaines (inventaires), 250 (modèle européen EUSE)
- ▶ Interactions entre substances non prises en compte
- ▶ Modèles orientés effets : DALY (Disability adjusted Life loss years), PDF x m² x an (percentage disappeared fraction of species)

Energie primaire

- ▶ Pouvoir calorifique supérieur (PCS)
- ▶ énergie de l'uranium appauvri incluse ?
7.58 kg d 'Unat (0.7% U₂₃₅) -> 1 TJe
1 kg U₂₃₅ -> 128 TJ
8.2 kWh primaire pour 1 kWh électricité nucléaire
sinon 3.5 kWh primaire
- ▶ hydraulique : énergie potentielle
- ▶ énergies renouvelables incluses ?

Autres indicateurs

- ▶ **Epuisement des ressources :**
 $\Sigma M_i / \text{réserves récupérables } i$
- ▶ **consommation d'eau :** m³
- ▶ **déchets produits :** tonnes
- ▶ **déchets radioactifs**

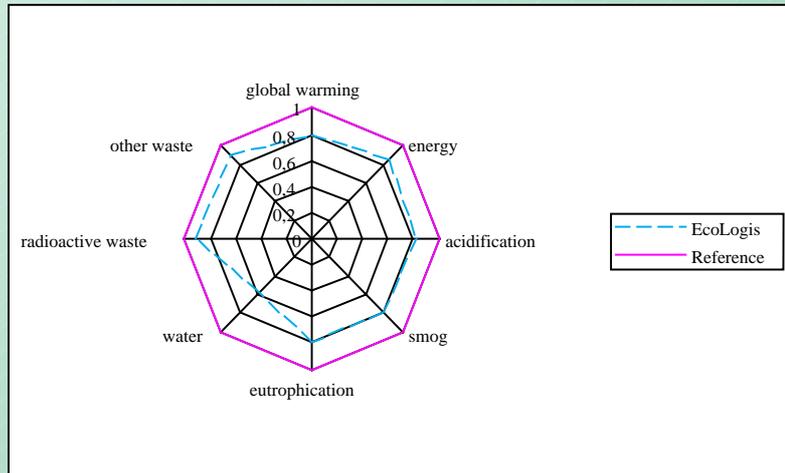


Exposition EcoLogis

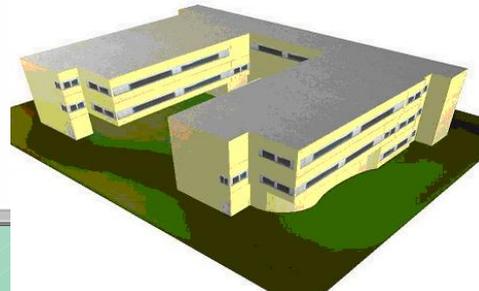
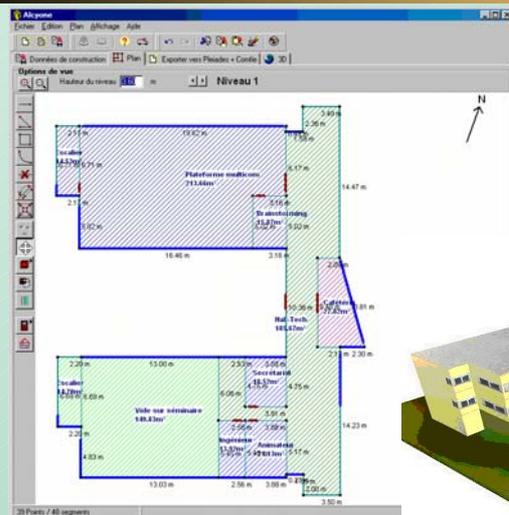


Exposition EcoLogis (Comité 21)

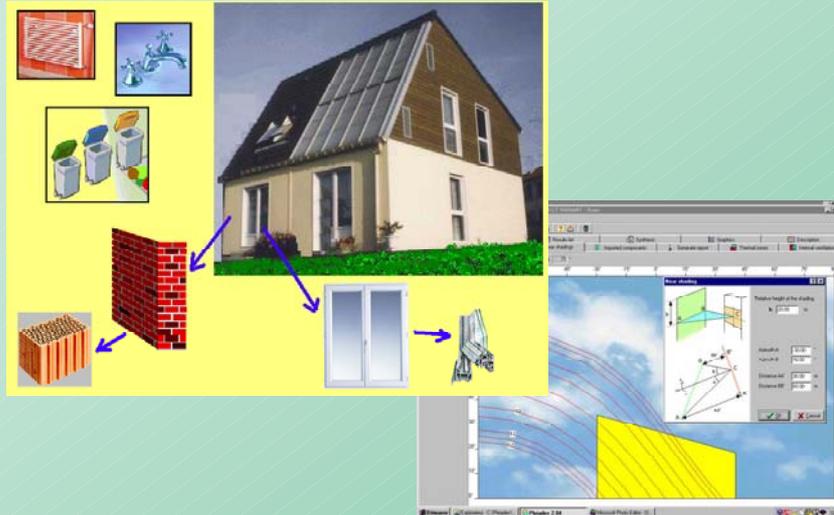
Comparaison avec une référence



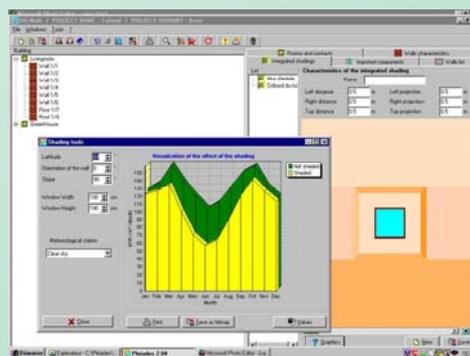
Description 2D – 3D : ALCYONE, www.izuba.fr



Modélisation du bâtiment



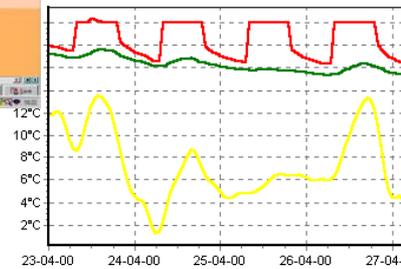
Lien avec l'outil de simulation thermique COMFIE



Besoins de chauffage et de climatisation

oie Vabre / réhabilitation + / Classes
 oie Vabre / réhabilitation + / Couloir
 oie Vabre / réhabilitation + / Extérieur

Profils de température



Equer, exemple de données

Equer

Prendre en compte le transport quotidien des occupants

Distances

Distance domicile-commerce: 10000 m (Défaut: Urbain)

Distance au réseau de transport en commun: 5000 m (Défaut: Rural)

Distance domicile-travail: 10000 m (Défaut: Isolé)

Usagers

% des occupants effectuant le trajet quotidien: 0

Mode de transport

Présence de pistes cyclables:

Mode de transport (journalier): [dropdown]

Type de site

Urban Barlieu Rural Site isolé

Equer, exemple de données

Saisie caractéristiques

Nom: Béton B25

Catégorie: Mat

Etape: FAB

Procédé: N

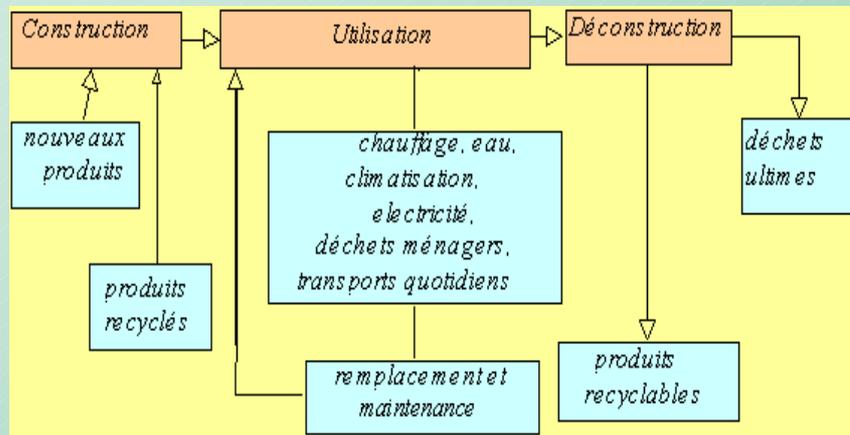
Unité: kg

Pollution

Caractéristique	Valeur	Unité
Effet de serre (kg CO2)	0.133000	kg
Acidification (kg SO2)	0.000364	kg
Energie consommée (MJ)	1.000000	m2
Eau utilisée (litres)	0.688000	m2
Déchets inertes produits (kg eq)	0.007630	m2
Épuisement des ressources abiotiques (E-15)	0.240600	kg
Eutrophisation (kg PO4)	0.000046	kg
Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	0.000034	kg
Ecotoxicité aquatique (m3)	0.000003	kg
Déchets radioactifs (dm3)	0.000008	tkm
Toxicité humaine (kg)	0.000964	tkm
Odeur (m3)	0.000000	kg

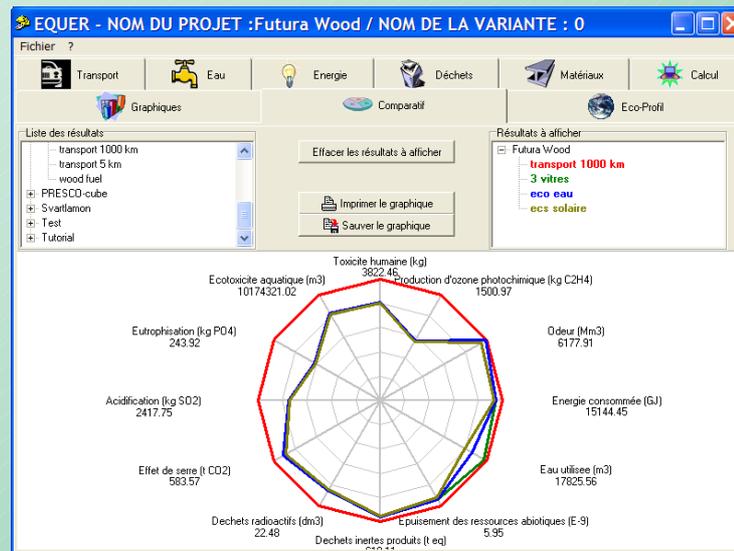
Conformité avec la bibliothèque Pleiades

EQUER : simulation du cycle de vie

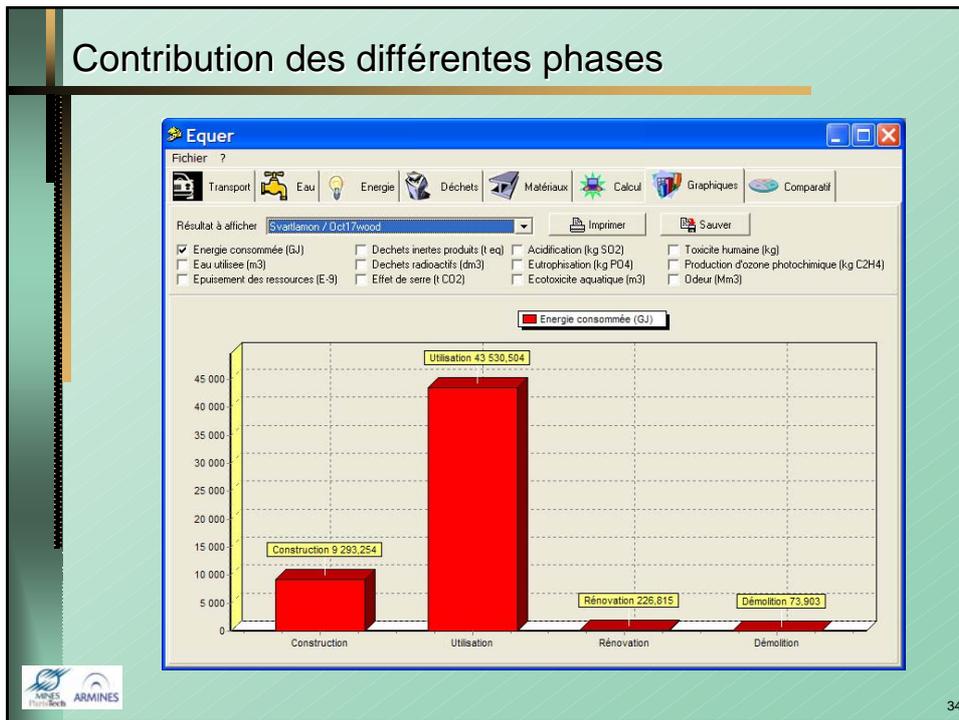


Calcul par pas de temps d'un an

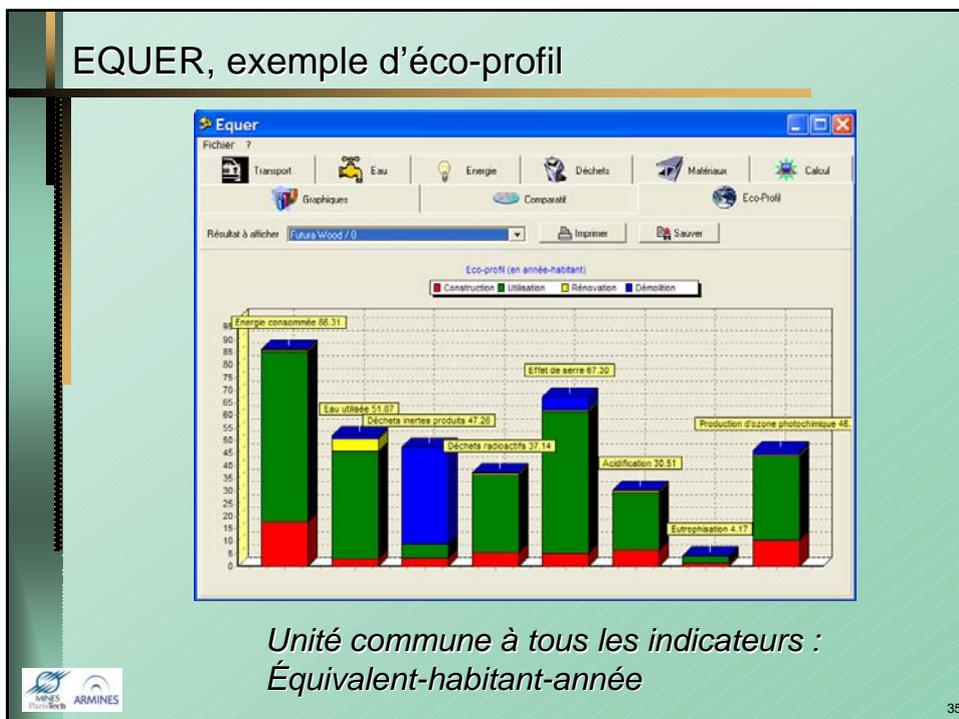
EQUER, exemple de comparaison de variantes



Contribution des différentes phases



EQUER, exemple d'éco-profil

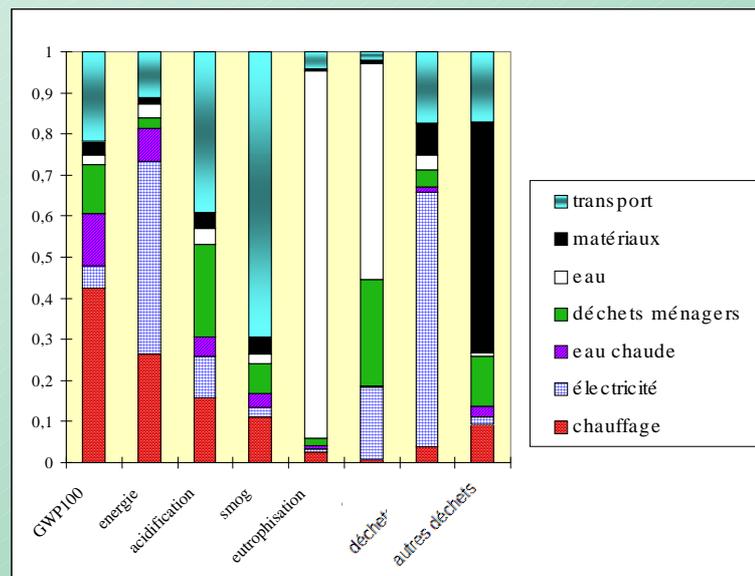


Unité commune à tous les indicateurs :
Équivalent-habitant-année

Phase d'interprétation

- ▶ Exemple, comparaison de deux variantes A et B
- ▶ Impacts de A < ou > Impacts de B ?
- ▶ Différence > incertitudes ?
- ▶ Vrai pour tous les impacts ? Sinon, vrai pour les impacts les plus élevés en équivalents habitants ?
Évaluation multi-critères à mener avec les autres acteurs (maître d'ouvrage, parties concernées)
- ▶ Vrai si on change certaines hypothèses (durée de vie du bâtiment, scénario de fin de vie...) -> analyses de sensibilité

Exemple d'application : sources d'impact



Limites de l'approche

- ▶ Manque de données précises en France
- ▶ incertitude sur les process (gestion des déchets en fin de vie, mix électrique)
- ▶ incertitude sur les indicateurs (ex. 35% sur le GWP des gaz autres que le CO₂)
- ▶ analyse multicritères

ACV, quelques autres méthodes

- ▶ Méthode TEAM-Bâtiment (ECOBILAN) :
<http://www.ecobilan.com/batiment/fr/Ecobilan-FDES-Systeme-information.php>
- ▶ ELODIE (CSTB) : elodie@cstb.fr
- ▶ Méthode simplifiée PAPOOSE (TRIBU) :
tribu.conseil@wanadoo.fr
- ▶ ECO-QUANTUM (Pays Bas) :
<http://www.ivam.uva.nl/uk/producten/product7.htm>
- ▶ LEGEP (Allemagne) : <http://www.legep.de/>
- ▶ ATHENA (Canada) : <http://www.athenasmi.ca/>
- ▶ ENVEST (BRE) : www.bre.co.uk/services/ENVEST.html
- ▶ ...

Comparaison, réseau européen PRESCO

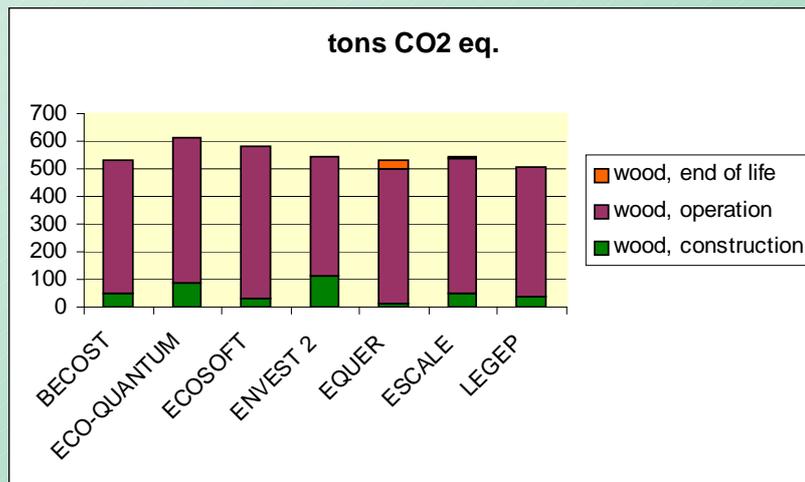


Maison suisse FUTURA, 210 m², ossature bois, Chauffage gaz, 80 ans



40

Comparaison d'outils ACV européens, PRESCO

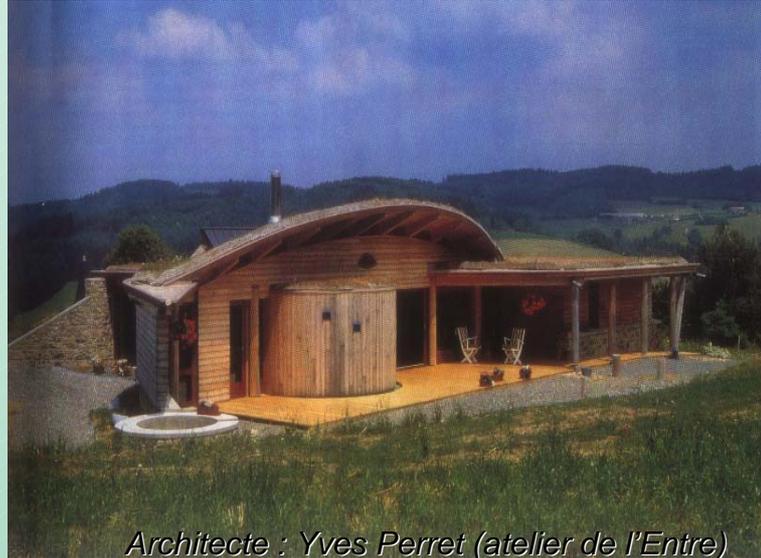


Écart ± 10% sur le cycle de vie
Cf. <http://www.etn-presco.net/>



41

Maison lauréate du concours Observ'ER « Habitat solaire »



Architecte : Yves Perret (atelier de l'Entre)



42

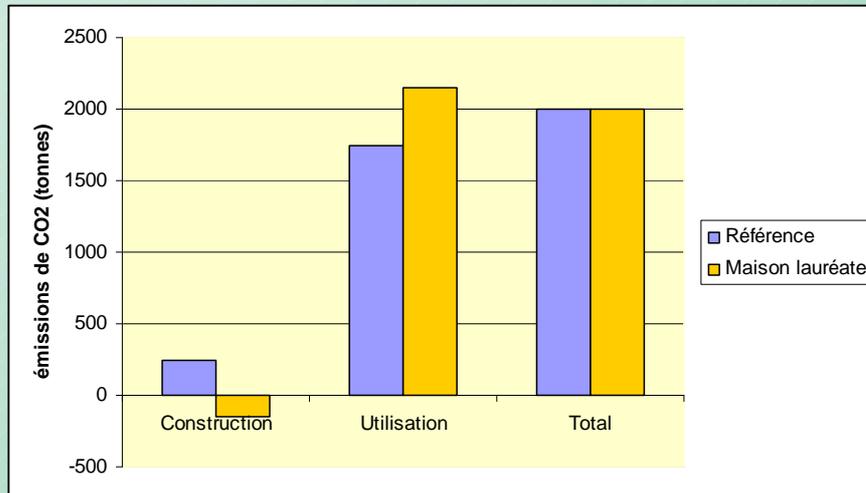
Bois et stockage de CO₂

- ▶ 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
- ▶ Global warming potential : 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

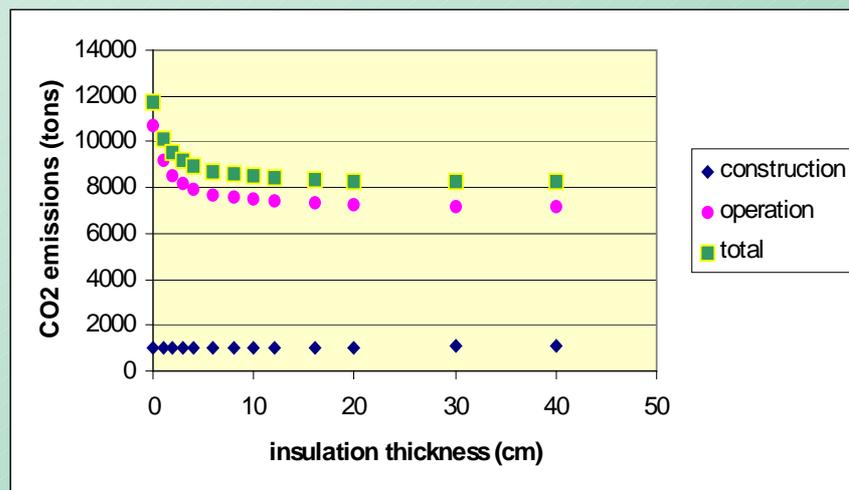


43

Comparaison à la maison de référence



Epaisseur d'isolation



Exemple d'application : Formerie (Oise)

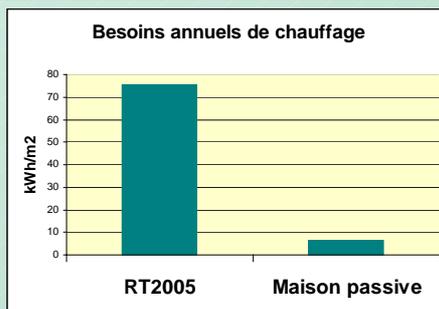


2 maisons passives, Oise, 2 x 135 m²
Entreprise : Les Airelles
EN ACT architecture



46

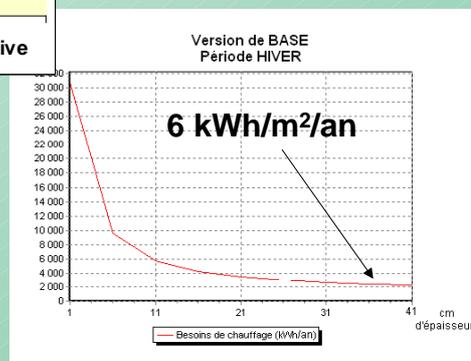
Résultats des simulations, hiver



Comparaison à la référence RT2005 avec la même géométrie

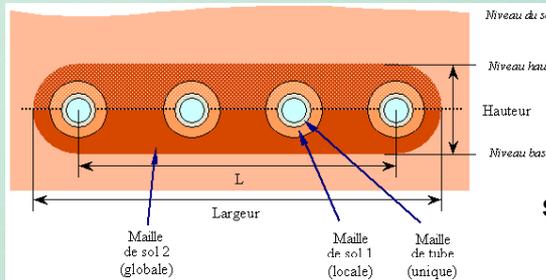
Chauffage à 19°C

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



47

Résultats des simulations, été (canicule 2003)

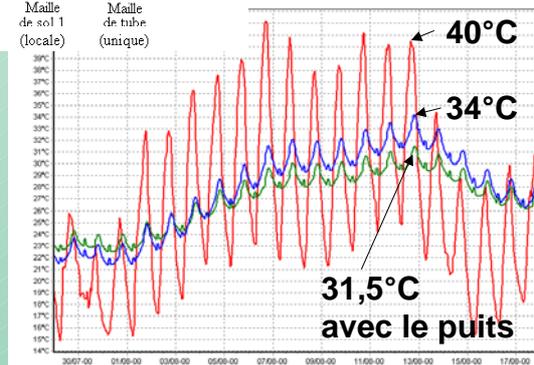


Modélisation du puits canadien

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

Climatisation : 2,5 kWh/m²

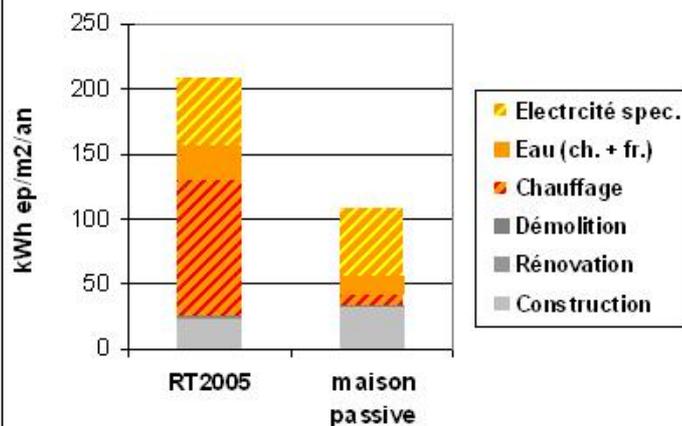
sans climatisation :



48

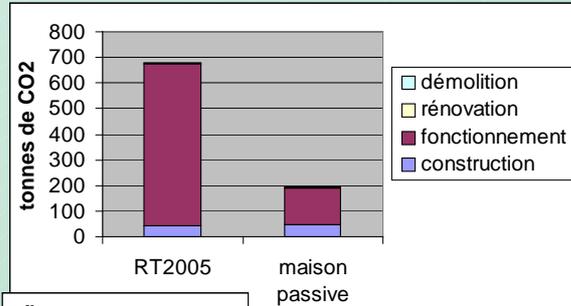
Contribution de l'énergie « grise » au bilan global

Contribution de l'énergie grise au bilan global (logiciel EQUER)



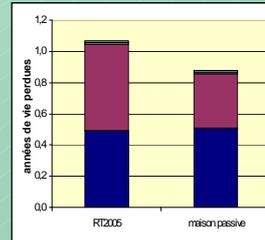
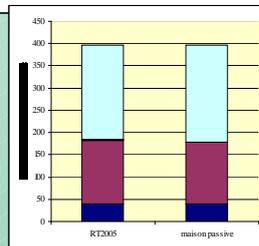
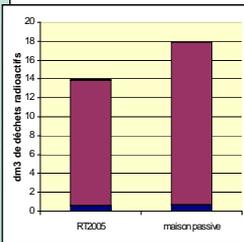
49

Résultats de l'analyse de cycle de vie



**2 maisons
Sur 80 ans**

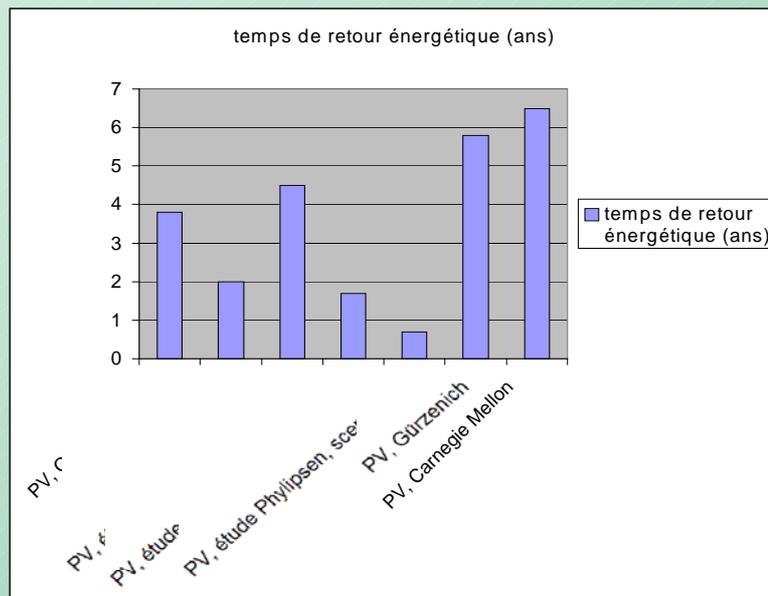
**Comparaison
à la référence
RT2005 avec
chauffage gaz**



Intérêt de l'énergie positive

50

ACV des systèmes photovoltaïques, résultats



51

5 étapes (énergie, eau, matériaux)

- ▶ **Limiter les besoins par la sobriété (chauffage à 19°C, douches/bains, emballages),**
- ▶ **l'efficacité (isolation, débit réduit, enveloppe légère au nord)**
- ▶ **Utiliser les ressources renouvelables**
- ▶ **Compléter en minimisant les impacts**
- ▶ **Informer les utilisateurs (régulation, gestion, maintenance)**



52

Conclusions

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



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 6), Observ'ER, 1996-2004
- ▶ Eco-conception des bâtiments et des quartiers, B. Peuportier, Presses de l'EMP, 2008

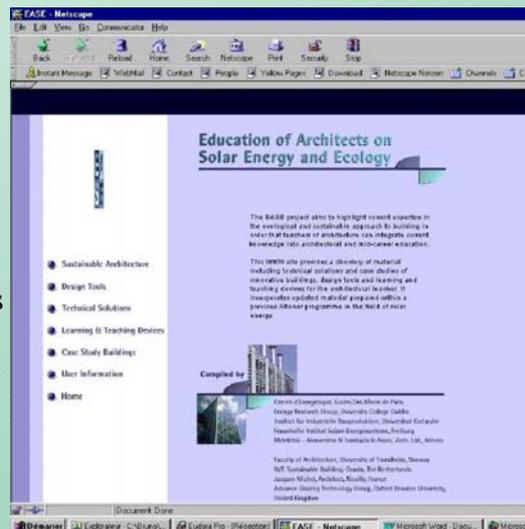


54

Projet européen EASE : www-cenerg.ensmp.fr/ease

Partners :

EMP, Paris
IFIB, Karlsruhe
Fhg ISE, Freiburg
W/E, Gouda
ERG, Dublin
MELETITIKI, Athens
Univ. of Trondheim
etc.



55

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)



56

FDES et énergie grise

- ▶ Production, transport, mise en œuvre, vie en œuvre, fin de vie
- ▶ non renouvelable et renouvelable
- ▶ énergie procédé et énergie matière
- ▶ La récupération d'énergie en fin de vie n'est pas comptabilisée dans le cycle de vie du produit mais affectée à la production de chaleur voire d'électricité
- ▶ -> question pour le bois, les plastiques...



57

Norme AFNOR

H.1.1 Pouvoir Calorifiques inférieurs

Tableau H.1

	Unité	PCI (MJ)	PCI (th)	Source
Charbon	1 (t)	28 900	6 905	ETHZ 96
Lignite	1 (t)	19 500	4 659	ETHZ 96
Coke de charbon	1 (t)	28 000	6 690	DGEMP
Fuel lourd	1 (t)	40 000	9 557	ETHZ 96
Fuel léger	1 (t)	44 000	10 512	ETHZ 96
Diesel	1 (t)	42 000	10 035	DGEMP
Coke de pétrole	1 (t)	32 000	7 645	DGEMP
Gaz naturel	1 (t)	45 500	10 871	ETHZ 96

NOTE Le PCI du bois varie en fonction de son humidité de 10 000 à 18 000 MJ/t.



58

Exemple, laine de bois

2.1 Consommations des ressources naturelles (NF P 01-010 § 5.1)

2.1.1 Consommation de ressources naturelles énergétiques et indicateurs énergétiques (NF P 01-010 § 5.1.1)

Flux	Unités	Production	Transport	Mise en œuvre	Vie en œuvre	Fin de vie	Total cycle de vie	
							Par annuité	Pour toute la DVT
Consommation de ressources naturelles énergétiques								
Bois	kg	0.136	9.06 E-08	1.05 E-10	0	1.84 E-09	0.136	6.78
Charbon	kg	0.0268	1.58 E-05	1.83 E-08	0	3.22 E-07	0.0268	1.34
Lignite	kg	0.00723	8.24 E-07	9.54 E-10	0	1.68 E-08	0.00723	0.362
Gaz naturel	kg	0.00496	0.000395	4.58 E-07	0	8.05 E-06	0.00537	0.268
Pétrole	kg	0.00553	0.0170	1.96 E-05	0	0.000345	0.0229	1.14
Uranium (U)	kg	1.06 E-06	8.84 E-09	1.02 E-11	0	1.80 E-10		
Etc.								

1,05 m² -> 14,55 kg dont 6,78 kg de bois



59

Laine de bois, 2

Indicateurs énergétiques

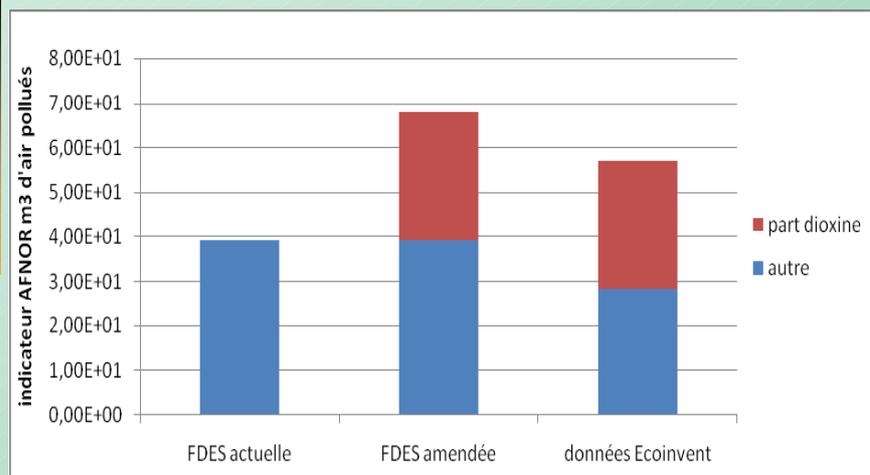
Energie Primaire Totale	MJ	1.83	0.741	0.000857	0	0.0151	2.59	129
Energie Renouvelable	MJ	0.182	0.000283	3.28 E-07	0	5.77 E-06	0.182	9.11
Energie Non Renouvelable	MJ	1.64	0.741	0.000857	0	0.0151	2.40	120
Energie procédé	MJ	1.77	0.741	0.000858	0	0.0151	2.52	126
Energie matière	MJ	0.0627	-9.07 E-05	-1.05 E-07	0	-1.85 E-06	0.0626	3.13
Electricité	kWh	0.0966	0.000528	6.11 E-07	0	1.08 E-05	0.0971	4.85

**Energie grise : 129 MJ dont
120 non renouvelable et 9 renouvelable
126 énergie procédé et 3 énergie matière
6,78 kg de bois -> 3,13 MJ énergie matière ?
Pourquoi une valeur négative pour le transport,
la mise en œuvre et la fin de vie ?**



60

Simplification des inventaires, ex. dioxines



**indicateur AFNOR (m3 d'air pollué) pour les phases
de production et d'incinération d'une dalle PVC**



61

Ecoinvent (version 2003)

► Production

- entre 17 et 24 MJ par kg selon le séchage
- PCI entre 15 et 16 MJ/kg (bois dur/tendre, 20% humid.)
- Laine de bois : 20 Aggloméré : 30
- Lamellé-collé : 25 Contextualisation en cours

► Fin de vie

- Décharge : 0,3 Incinération : 0,2
- Incinération avec récupération de chaleur : +14
- Ré-utilisation : on récupère le PCI du bois