

**Troisième Journée anniversaire  
Eco conception et usage du sol  
8 novembre 2011**

**Usage du sol et Analyse de Cycle de Vie**

**Bruno PEUPORTIER**  
**Mines ParisTech – CEP**



# Analyse de cycle de vie

- ▶ **Outil d'ingénierie pour l'évaluation des impacts environnementaux d'un produit sur son cycle de vie**
- ▶ **Fabrication, utilisation, fin de vie, recyclage**
- ▶ **Unité fonctionnelle, ex. 1000 m<sup>2</sup> logements sur 80 ans**
- ▶ **Inventaire des substances puisées et émises dans l'environnement (matières premières, combustibles, sol, émissions dans l'air, l'eau et le sol, déchets)**
- ▶ **Indicateurs environnementaux : équivalent CO<sub>2</sub> incluant l'ensemble des gaz à effet de serre**
- ▶ **Interprétation des résultats**

# Le sol dans l'ACV

► **4 dimensions du DD : environnementale, économique, sociale et culturelle, l'ACV concerne l'environnement**

Dimensions	Buts	Objectifs
1 Écologique	1 Préserver les ressources	1 Préserver les matières premières 2 Economiser l'énergie 3 Economiser l'eau 4 Réduire l'usage du sol
	2 Protéger les écosystèmes	1 Limiter les émissions toxiques 2 Protéger le climat 3 Protéger les forêts 4 Protéger les rivières et les lacs 5 Améliorer la qualité de l'air extérieur 6 Protéger la faune et la flore 7 Réduire les déchets 8 Réduire les déchets radioactifs 9 Préserver la couche d'ozone 10 Limiter les inondations

**Le sol est l'un des aspects, mais interactions (biodiversité, santé)**

# Principe de précaution, indicateur d'occupation du sol

- ▶ On ne sait pas évaluer précisément toutes les conséquences de l'usage du sol -> par précaution, réduction des usages considérés comme les plus problématiques -> indicateur de potentiel, cf. PRG
- ▶ **Potentiel de dégradation de la condition naturelle**
- ▶  $= \sum_i a_i \cdot t_i \cdot NDP_i$  [m<sup>2</sup> x année]
- ▶  $a_i$  = surface occupée pour un type d'utilisation *i* [m<sup>2</sup>]
- ▶  $t_i$  = temps d'occupation pour un type *i* [années]
- ▶  $NDP_i$  = Facteur de caractérisation NDP pour un type d'utilisation *i* (Brentrup 2002, Hemeroby concept 1955)

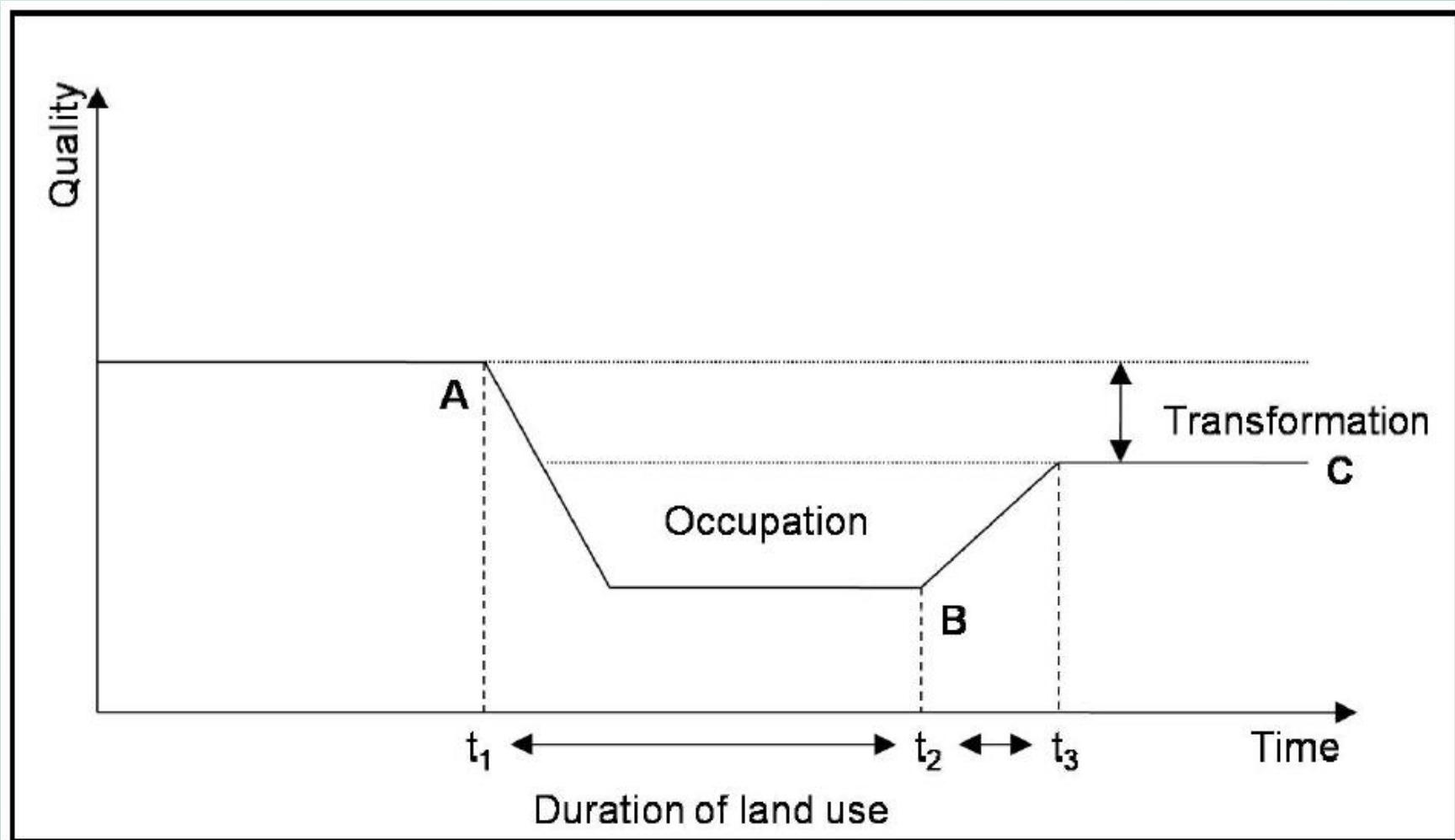
# Inventaires et facteurs de caractérisation

- ▶ Inventaires : surfaces de différents types occupées x temps d'occupation =  $a_i \cdot t_i$
- ▶ Exemples de facteurs de caractérisation ( $NDP_i$ )

Type de sol	NDP
Occupation, arable, non-irrigated	0,7
Occupation, construction site	0,95
Occupation, dump site	0,9
Occupation, forest, intensive	0,4
Occupation, industrial area	0,95
Occupation, permanent crop, fruit, intensive	0,6
Occupation, shrub land, sclerophyllous	0,25
Occupation, traffic area, road network	0,9
Occupation, urban, discontinuously built	0,85

(maquis)

# Modèle d'évolution de la qualité d'un sol

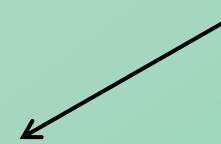


Évaluation pour chaque procédé

# Indicateur de transformation du sol

- ▶  $= \sum_i a_i \cdot (\text{NDP}_i \text{ présent} - \text{NDP}_i \text{ antérieur})$
- ▶ **Exemples de données (base Ecoinvent)**

	occupation	transformation
	m2.an	m2
1 kg béton	2,81E-03	1,78E-04
1 kg brique	3,49E-03	8,61E-05
1 kg polystyrène	4,44E-03	7,96E-05
1 kg polyuréthane	1,11E-02	1,16E-04
1 kg laine de verre	3,47E-02	4,97E-04
1 kg acier	7,03E-02	7,32E-04
1 kg aluminium	1,07E-01	2,12E-03
1 kg aluminium recyclé	3,86E-02	6,32E-04
1 kg bois	1,71E+00	7,37E-03
1 m <sup>2</sup> fenêtre PVC	5,02E-01	6,97E-03
1 kg béton, décharge	1,21E-03	2,34E-05
1 kg plastique incinéré	7,36E-04	1,28E-05
1 kg bois incinéré	1,78E-04	5,73E-06
1 kWh électricité nucléaire	3,55E-04	6,00E-06
1 m <sup>3</sup> eau potable	2,37E-02	3,14E-04
1 t.km camion	1,42E-03	8,10E-05



# Plusieurs fonctionnalités des sols

---

- ▶ Indicateurs plus spécifiques que le NDP global
- ▶ Résistance à l'érosion, selon la granulométrie du sol, le % d'humus et de squelette, le climat (précipitations), la pente
- ▶ Filtration mécanique et physicochimique (métaux lourds, nitrates, organiques), selon le % d'argile et d'humus
- ▶ Recharge des nappes phréatiques, selon les précipitations, la capacité de la nappe et l'évaporation, la texture du sol, la pente
- ▶ Production biotique selon le type d'usage

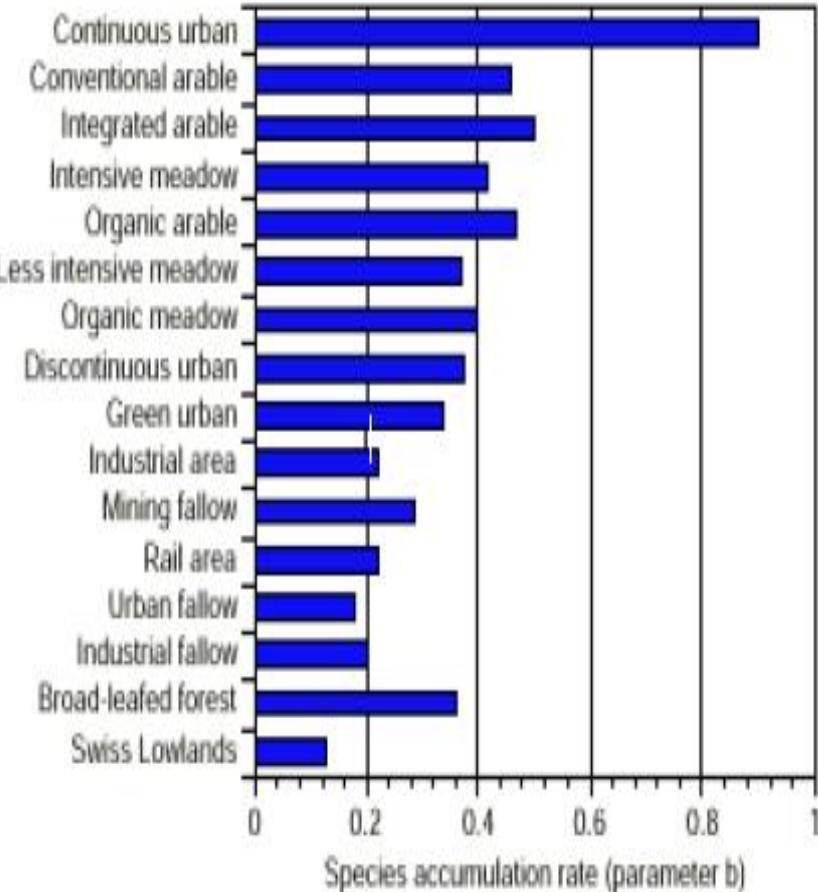
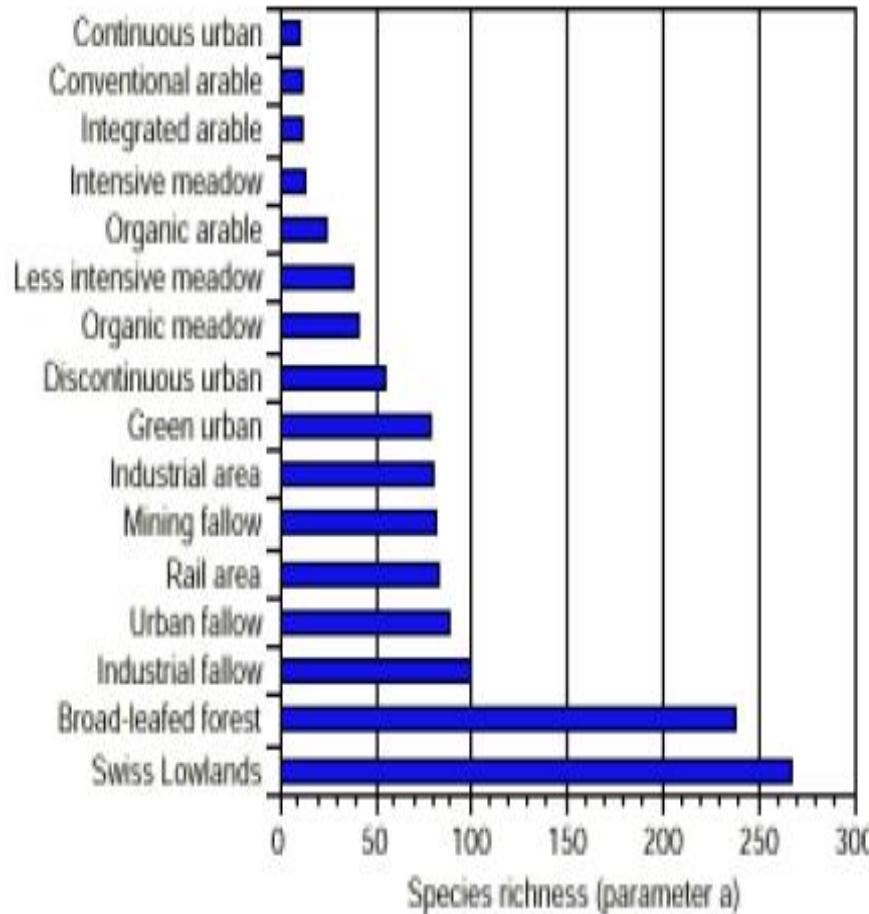
# Limites de ces indicateurs

- ▶ Ne tiennent pas compte du fractionnement
- ▶ Rapidité de la transformation
- ▶ Effets sur les micro-climats
- ▶ Subjectivité du facteur de caractérisation NDP : forêt = 0,4 -> très fort impact du bois matériau
- ▶ Allocation (blé -> nourriture + paille -> énergie)
- ▶ Tendance : indicateurs orientés dommages
- ▶ PDF (percentage disappeared fraction of species)
- ▶ EDP Ecosystem Damage Potential = PDF . m<sup>2</sup> . an

# Usage du sol et PDF

- ▶ Occupation et transformation -> biodiversité
- ▶ Effets locaux et régionaux
- ▶ Diversité d'espèces  $S = a \cdot A^b$
- ▶ A : surface de sol (ha), a : facteur de richesse en espèces, b : facteur d'accumulation d'espèces
- ▶ L'artificialisation diminue le a du sol occupé (effet local) et la surface A du sol non artificialisé restant (effet régional)
- ▶  $\text{PDF} = (S_{\text{antérieur}} - S_{\text{présent}}) / S_{\text{antérieur}}$
- ▶ Plantes vasculaires utilisées comme proxy

# Valeurs de a et b



Goedkoop M.J. et Spriemsma R., The Eco-Indicator 99, A damage oriented method for life cycle impact assessment, Amersfoort, juin 2001

# Usage du sol + éco-toxicité

- ▶ PDF intègre le sol mais aussi les substances éco-toxiques
- ▶ Émissions, compartiments écologiques (air, eau douce, eau de mer, sédiments, sol nat. agri. et ind.), transport (vent, diffusion air/eau, absorption, sédimentation, érosion, déposition, écoulements...), (bio)dégradation (photochimie, hydrolyse...) -> concentration, transferts (eau potable, nourriture : bioaccumulation) -> dose -> effet (risques), interactions entre substances non prises en compte
- ▶ 100 000 substances commercialisées, quelques milliers (inventaires), 250 (modèle européen EUSES : European Uniform System for the Evaluation of Substances, RIVM (Institut National de Santé Publique et d'Environnement, Pays Bas), cf. <http://ecb.jrc.it/>

# Performance (pression ou état) et moyens (réponses)

- ▶ Exemple d'indicateur de performance (pression) : occupation et/ou transformation du sol, EDP ?
- ▶ Indicateur d'état : nombre de taxons ?
- ▶ Exemple d'indicateurs de moyens (réponse) : densité, coefficient d'occupation des sols ?
- ▶ Tendance : indicateurs orientés dommages (ex. EDP), relier les effets et les causes (prévention)
- ▶ Performances -> comparer ou associer des moyens, nombre d'indicateurs plus réduit, objectif de suivi, mais plus complexe à évaluer (incertitudes)

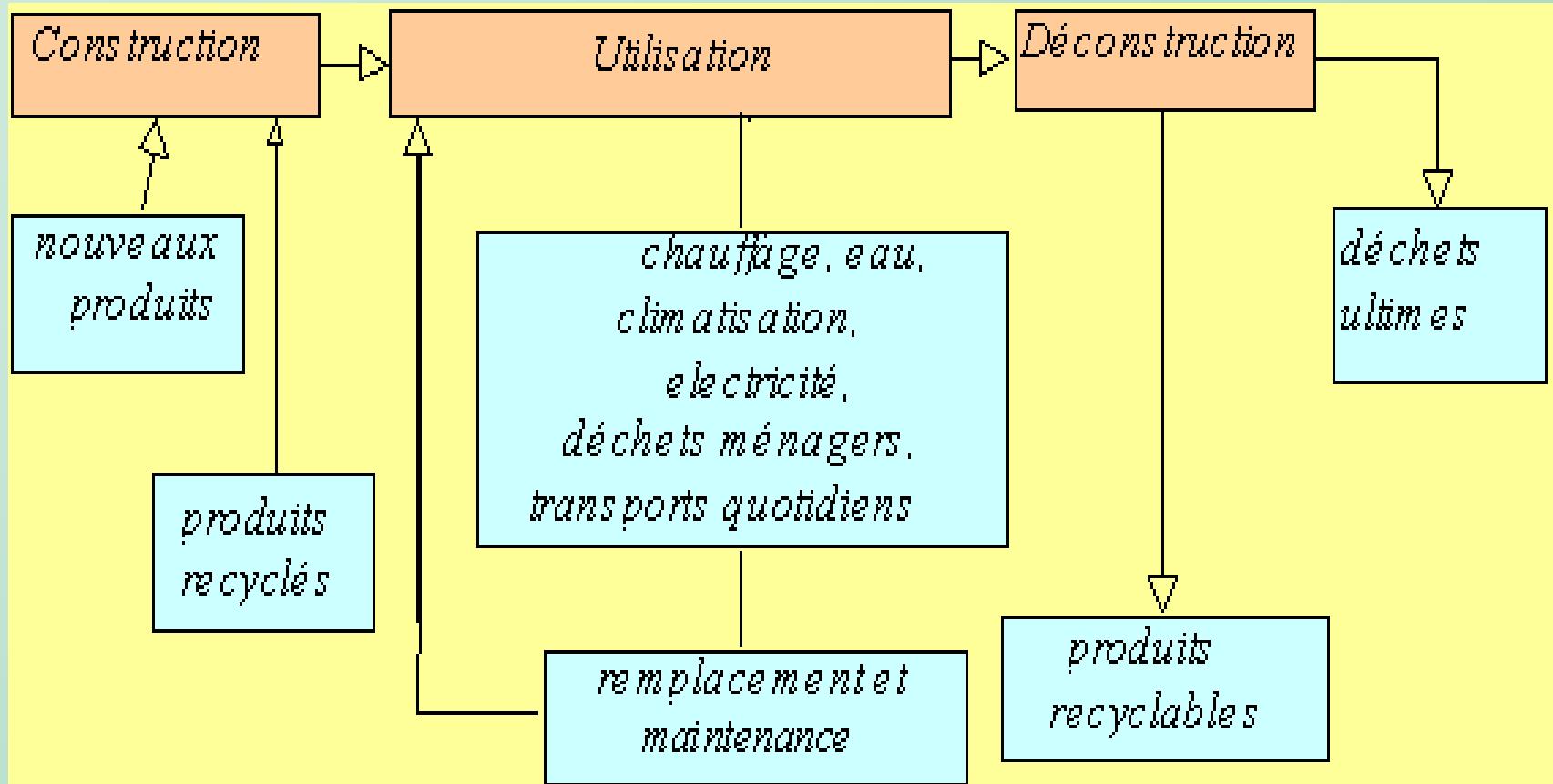
# Etude de cas : maison très basse énergie, Chambéry

## ► Plate forme INCAS, Inst. Nat. d'énergie solaire (INES)



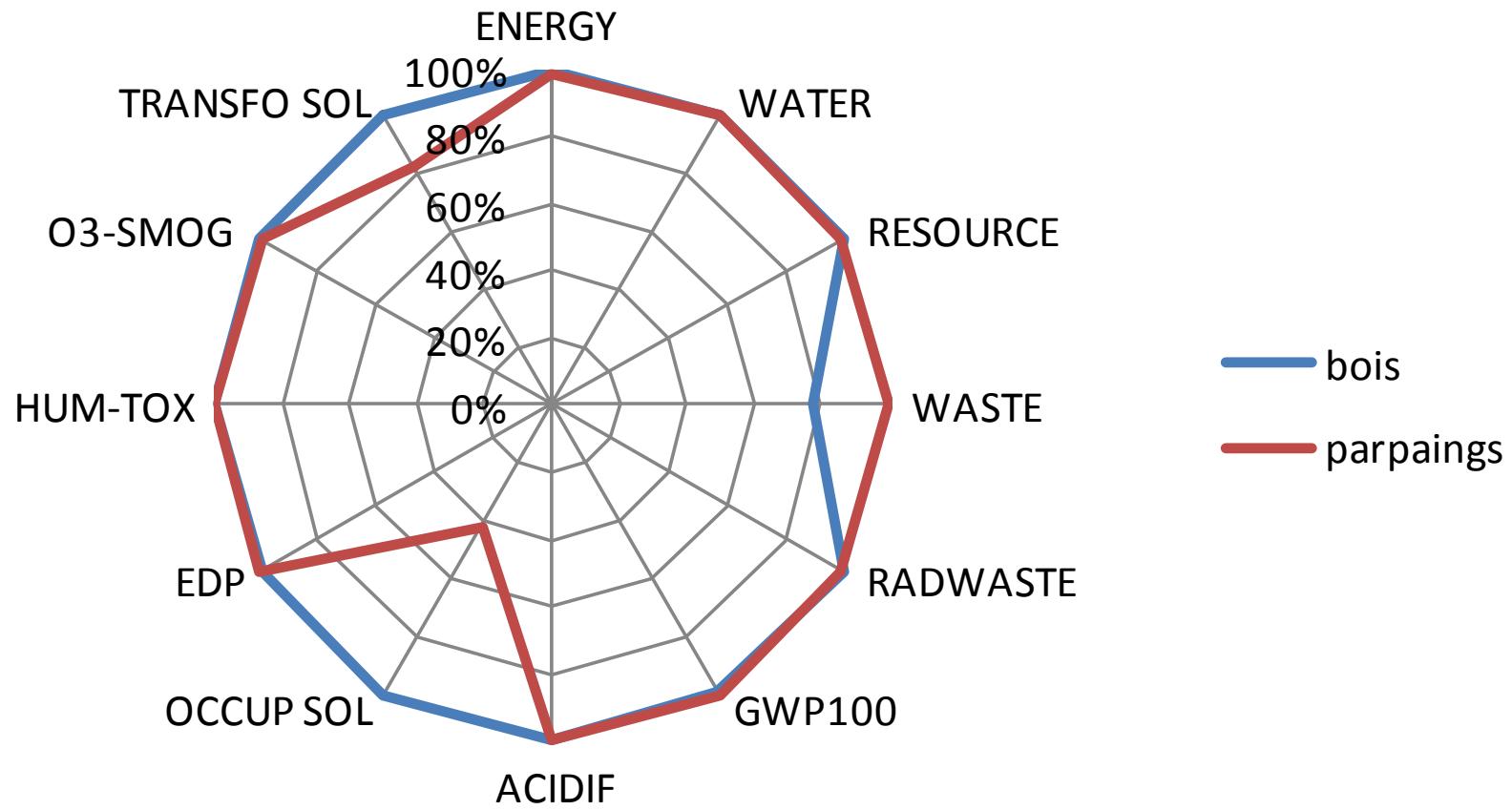
- Maisons d'environ 90 m<sup>2</sup>, plusieurs types de murs : double murs parpaings, béton banché, bois...
- Durée considérée pour l'ACV : 80 ans
- Scénario d'usage (4 personnes, chauffage 20°C, 100 l/j/p eau froide et 40 l eau chaude, ...)

# EQUER : simulation du cycle de vie

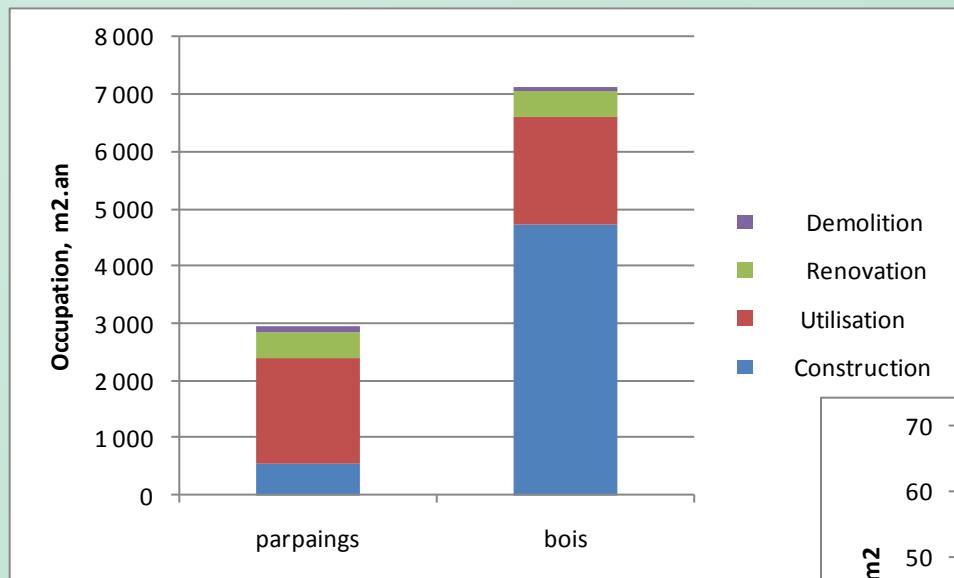


**Calcul par pas de temps d'un an**

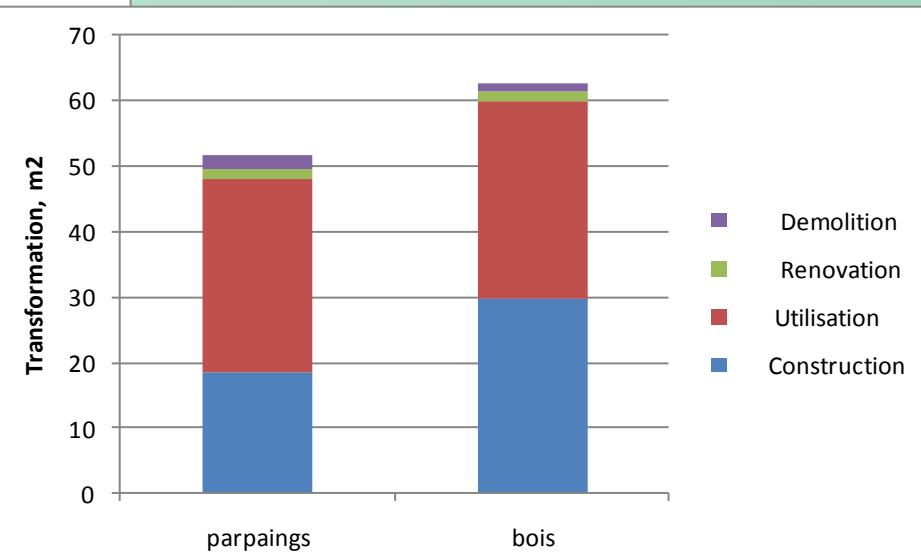
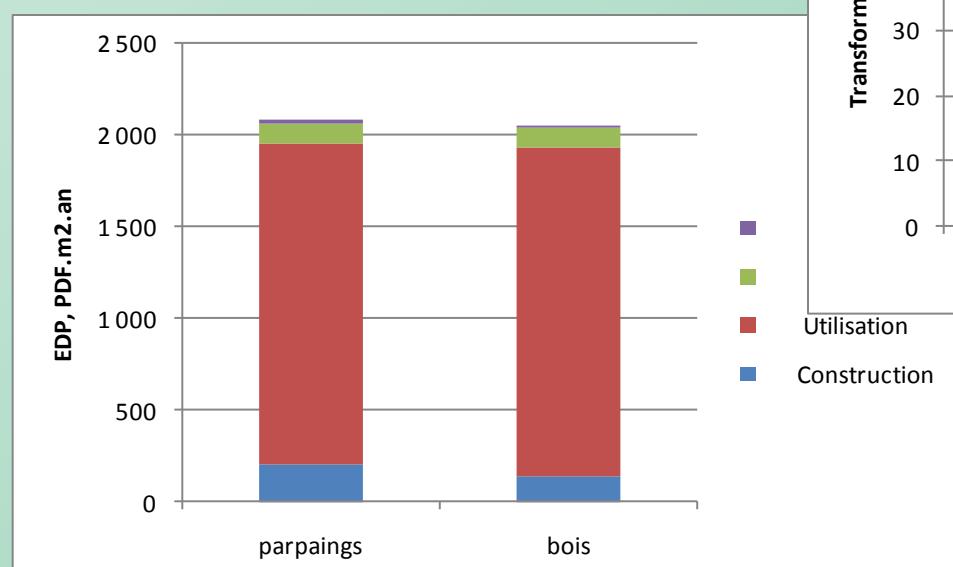
# Résultats, comparaison matériaux parpaings / bois



# Résultats, comparaison matériaux parpaings / bois

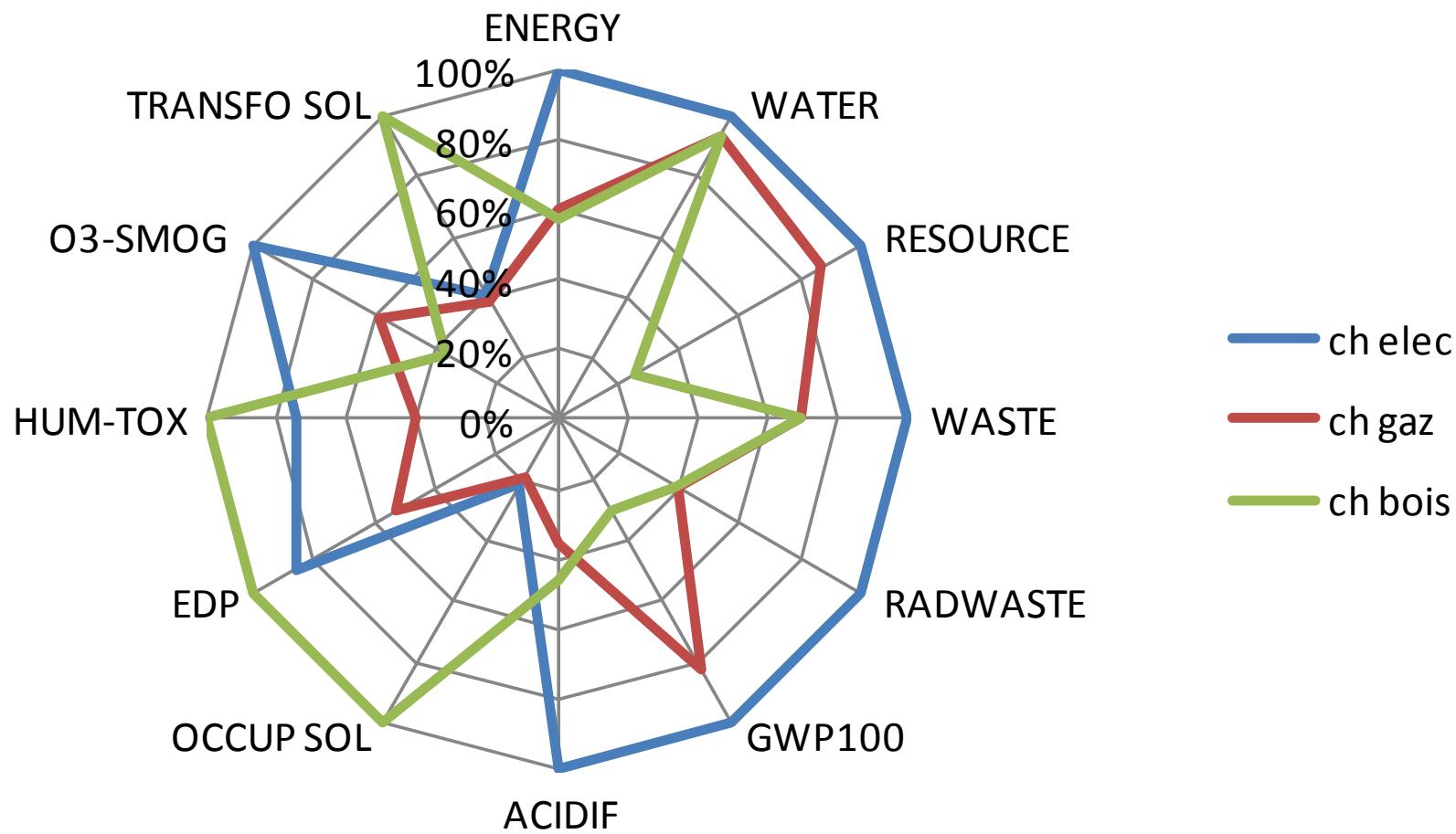


**Occupation :**  
**Surface au sol 50 m<sup>2</sup>**  
**x 0,95 x 80 ans**  
**= 3 800 m<sup>2</sup>.an**



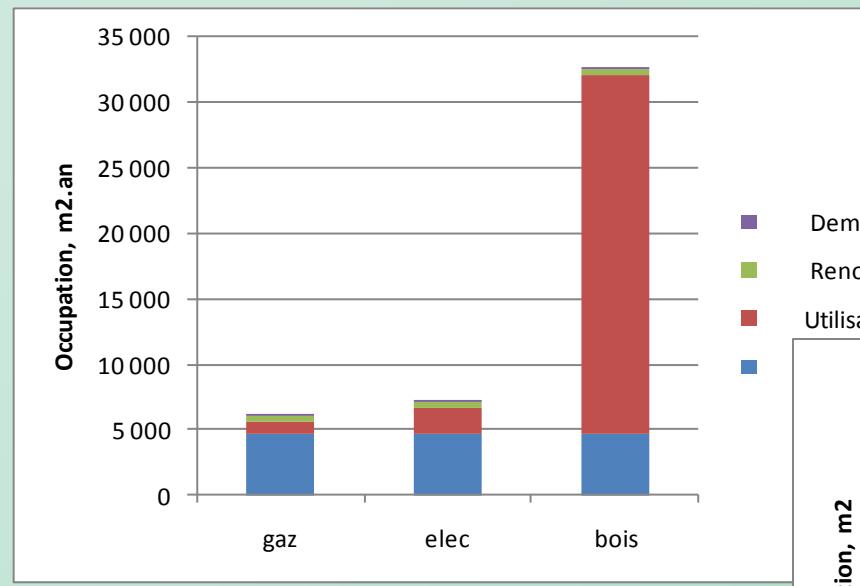
**Transformation : 50 m<sup>2</sup>**  
**x (0,95 – 0,7 ?) = 12,5 m<sup>2</sup>**

# Résultats, comparaison énergie élec / gaz / bois



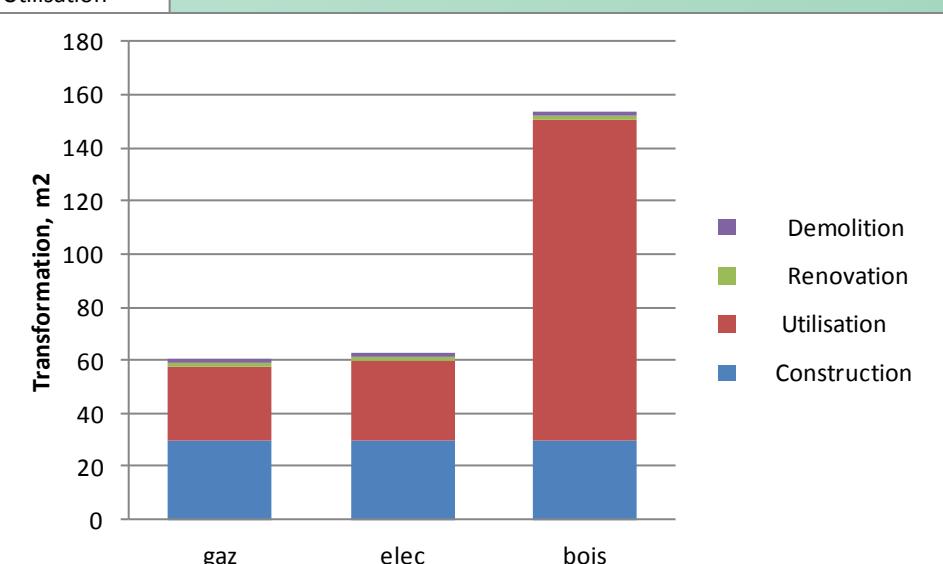
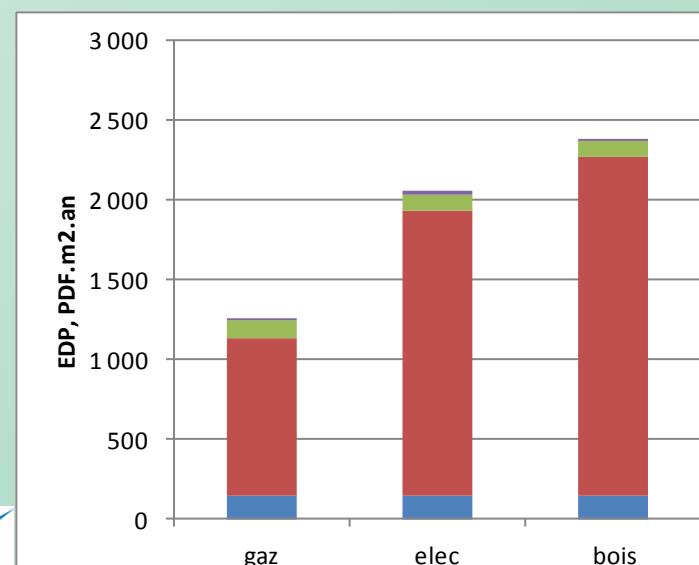
Mix annuel, à affiner pour le chauffage électrique

# Résultats, comparaison énergie élec / gaz / bois



**Construction bois**  
**50 m<sup>2</sup> au sol**

$$S_{\text{initial}} = 40 \times (50/10000)^{0,38}$$
$$= 5,3$$



$$S_{\text{final}} = 10 \times (50/10000)^{0,9}$$
$$= 0,1$$

$$\rightarrow 5,2/5,3 \times 50 \times 80$$
$$= 3\,900 \text{ PDF.m}^2.\text{an}$$

# Indicateurs considérés dans EQUER (ACV quartiers)

- ▶ Aucun indicateur d'usage des sols considéré dans les normes sur l'ACV des bâtiments
- ▶ EQUER outil de recherche et d'aide à la conception
- ▶ EDP utilisé aux échelles bâtiment et quartier
- ▶ Occupation et transformation à l'échelle du quartier (encourager la bonne gestion du sol comme ressource, la densification et la réutilisation des friches industrielles) mais pas à l'échelle des bâtiments (impacts liés au bois matériau ?)

# Action de coordination de la recherche, LORE LCA

---

- ▶ Etat de l'art sur les outils, projet ENSLIC BUILDING
- ▶ Limites des connaissances actuelles
- ▶ Homogénéité des données pour les différents secteurs  
(énergie, matériaux...)
- ▶ Jusqu'où simplifier la méthode ?
- ▶ Prise en compte du recyclage
- ▶ CO<sub>2</sub> biogénique
- ▶ Interprétation des résultats

# Conclusions et perspectives

- ▶ **Outils opérationnels, en cours de test et amélioration**
- ▶ **Nécessité de simplification, mais conserver la sensibilité aux paramètres de conception/décision**
- ▶ **Concilier la complexité de la question environnementale avec l'exigence de participation du plus grand nombre**
- ▶ **Intégration inter-sectorielle, contribution de la Chaire Eco-conception des ensembles bâtis et des infrastructures, apport scientifique sur les indicateurs et outils d'évaluation, à la disposition des décideurs**