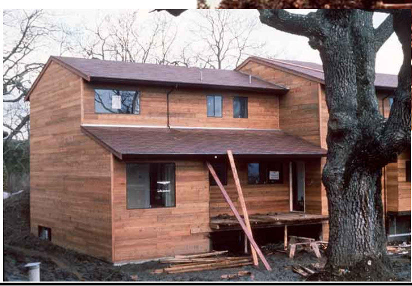
Eco-efficacité et éco-efficience: un nouveau paradigme en construction(s)

Luc COURARD

Université de Liège, Belgique

NoMAD, Toulouse, 20 novembre 2012

Quel est le bâtiment le plus écologique?



Maison GGGG, Alberto Kalach, avec Daniel Alvarez (Mexique)

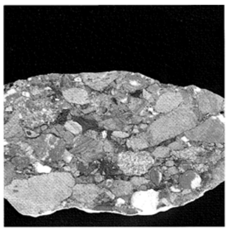
Quel est le pont le plus écologique?

Pont couvert de Hartlund, NB, Canada

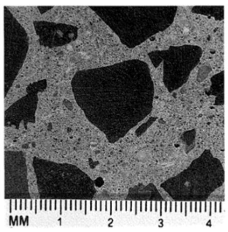
Appellation : Pont de Wandre
Adresse : Herstal
Date de construction : 1989
Architecte : René Greisch

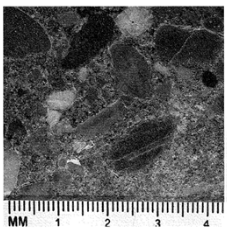
Quel est le matériau le plus écologique?

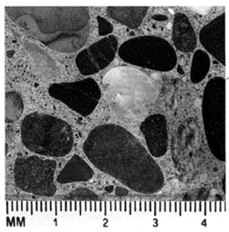
La nature … … l'homme



X millions d'années …







Sommaire

Recyclage et réemploi

La stratégie des 3R

Recyclage et réemploi

Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dite des 3 R

- ***réduire***, qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets,
- ***réutiliser***, qui regroupe les procédés permettant de donner à un produit usagé un nouvel usage,
- ***recycler***, qui désigne le procédé de traitement des déchets par recyclage.

Recycylage et réemploi

Réaliser des gains

- Pillage des abbayes, châteaux, industries,…
- Récolte sélective du papier et du carton
- Remplacement des granulats naturels par des granulats recyclés

Conserver

- Témoins historiques: conservation du patrimoine
- Témoins sentimentaux

Économiser les moyens

- Colonnes du fronton du Théâtre Royal de Liège
- Fonte des cloches en période de guerre

Recyclage et réemploi

Economiser des matières premières

- l'acier recyclé permet d'économiser du minerai de fer;
- chaque tonne de matière plastique recyclée permet d'économiser 700 kg de pétrole brut ;
- le recyclage de 1 kg d'aluminium peut économiser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14 kWh d'électricité;
- chaque tonne de carton recyclé fait économiser 2,5 tonnes de bois;
- chaque feuille de papier recyclé fait économiser 1 l d'eau et 2,5 W d'électricité en plus de 15 g de bois.

Recyclage et réemploi

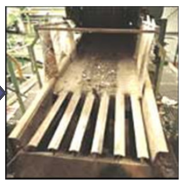
Economiser les ressources

Déchets municipaux

Combustion à 900-1000°C

Opérations post-combustion

Approvisionnement



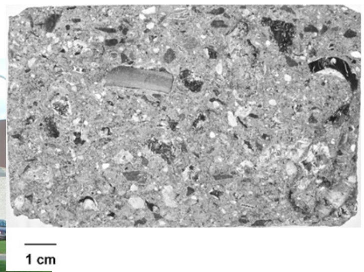
Criblage

Séparation magnétique

Maturation (10 – 20 semaines)

Recyclage et réemploi

Economiser les ressources



Splitting resistance(N/mm²)	4.05 ± 0.53
Water absorption (%)	6.61 - 6.29
Abrasion (mm)	0.98 - 1.36

Industrial process – 10% MSW slags

Source : Utilisation des mâchefers d'incinérateur d'ordures ménagères dans la fabrication des pavés en béton. L. Courard, R. Degeimbre, A. Darimont, A.-L. Laval, L. Dupont et L. Bertrand. Mater. Struct., 35 (Juillet 2002), 365-372.

Recyclage et réemploi

Rendre utile

Mobilier dans la maison en papier d'Elis Stenman (Pigeon Cove, Massachusets
Source: Elfers, J. & Schuyt, M., « Les bâtisseurs de rêves »

www.paperhouserockport.com

Recyclage et réemploi

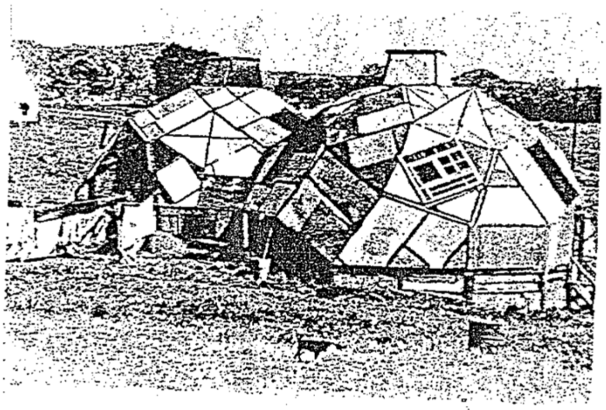
Etre sentimental

Palais Idéal du facteur Cheval (Photo G. Thérin)

Recyclage et réemploi

Contester

Dômes en matériaux de récupération, réalisés par une communauté de hippies, sous la direction de Buckminster Fuller, Colorado, 1965
Source: Elfers, J. & Schuyt, M., « Les bâtisseurs de rêves »



Recyclage et réemploi

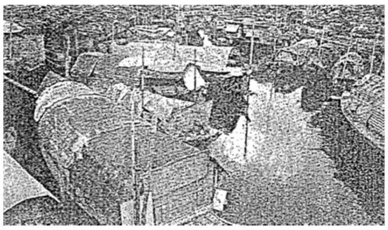
Créer

Baldaccini, César - "Compression" - Compression 1960 - Métal compressé, pots d'échappement d'automobiles

Baldaccini, César - "Compression" - (1960)

Recyclage et réemploi

Survivre



Maisons de marchands pauvres à Bangkok
Source: Gabor, M., « Maisons sur l'eau »

Ramasseurs de déchets dans un bidonville de Jakarta en Indonésie

Raison(s) et besoins

Les constructions changent

Raison(s) et besoins

Extinction des ressources

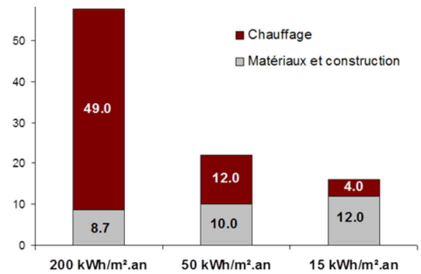
Raison(s) et besoins

Développement de matériaux et techniques alternatives pour le bâtiment

Amélioration des performances énergétiques des bâtiments

Augmentation du poids relatif des matériaux de construction / impacts environnementaux

Nécessité de développer de nouveaux matériaux

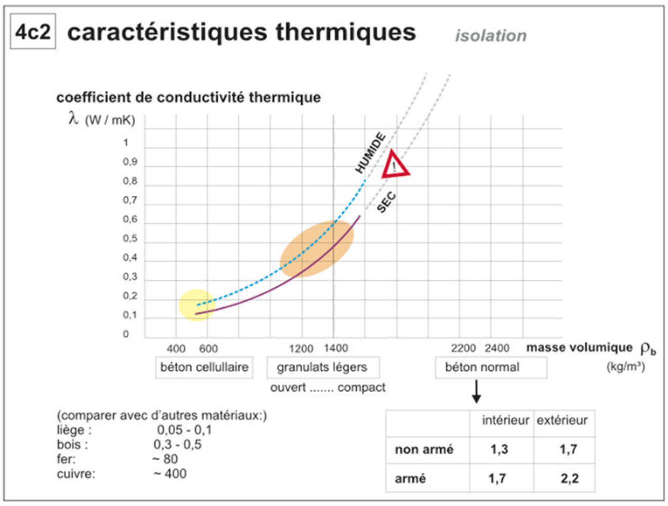


Il faut maîtriser l'approche « Matériaux »

Source : G. Escadeillas, Métamorphoses, Liège, 2011)

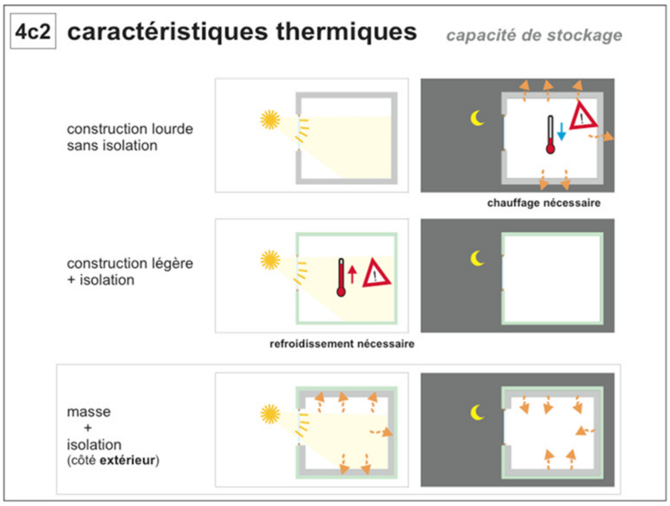
Raison(s) et besoins

Il faut maîtriser l'approche « Matériaux »



Raison(s) et besoins

Il faut maîtriser l'approche « Matériaux »



Raison(s) et besoins

Matériaux renouvelables

Projet Béton de bois

- Mélange de copeaux de bois et de pâte de ciment
- Réalisation de cloisons intérieures et extérieures (avec recouvrement)
- Isolation thermique: λ = 0.09 W/m.°K (bloc de béton cellulaire λ = 0.12 W/m.°K et brique de terre cuite λ = 0.27 W/m.°K)

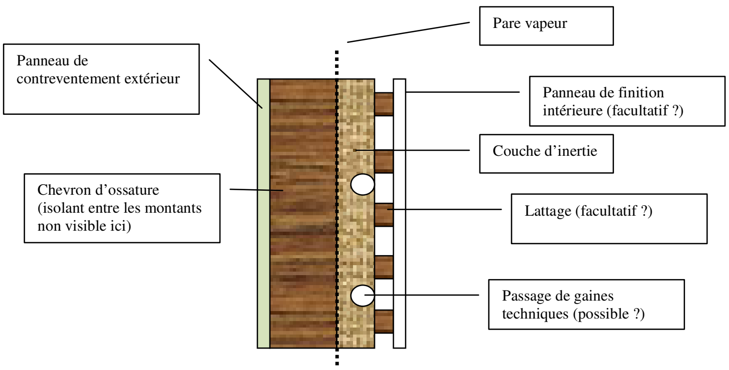
Raison(s) et besoins

Matériaux renouvelables

Projet AGROMOB (2011-2013) Amélioration de l'inertie thermique des bâtiments à ossature bois par incorporation de matériaux biosourcés au moment de la préfabrication

Raison(s) et besoins

Matériaux renouvelables



Raison(s) et besoins

Matériaux renouvelables

Projet aPROpaille (2011-2013) Vers une reconnaissance de l'usage de la paille comme matériau isolant dans la construction

Raison(s) et besoins

Matériaux renouvelables

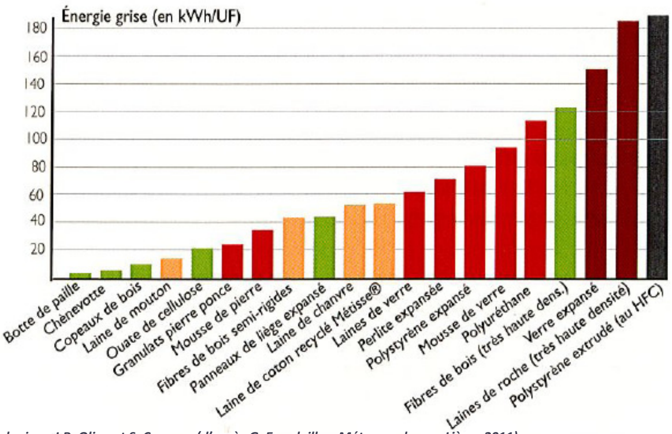
Critères de sélection

L'énergie grise

Critères de sélection des matériaux

Energie grise des matériaux (kWh/m³ ou T)

- machines d'extraction,
- carburant pour le transport,
- consommation d'électricité pour la transformation,
- pétrole utilisé pour la production.



Source : Isolation thermique et écologique J.P. Oliva et S. Courgey (d'après G. Escadeillas, Métamorphoses, Liège, 2011)

Critères de sélection des matériaux

Consommation d'énergie pour la production de 1m³ de béton armé

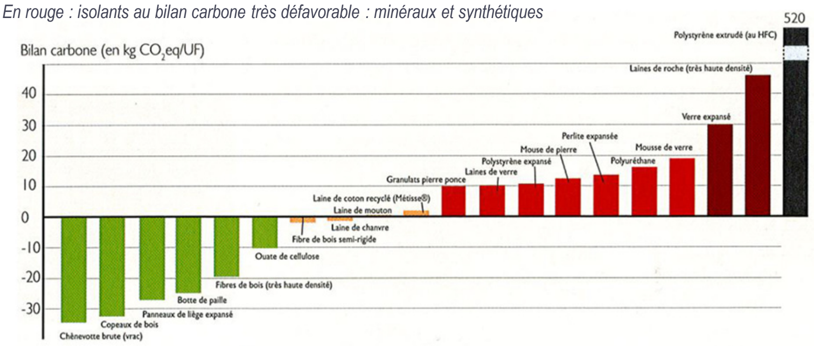
Matériau/opération	Energie (GJ)
Ciment	1.58
Sable et granulats	0.27
Armatures	2.25
Coffrage	0.43
Transport et mise en œuvre	0.34
Démolition et traitement des déchets	0.27
TOTAL	5.14

Critères de sélection des matériaux

En vert : isolants « puits de carbone » peu transformés ou denses

En jaune : isolants neutres : laines végétales

En rouge : isolants au bilan carbone très défavorable : minéraux et synthétiques



« Bilan CO_2 » de 1 m² de divers isolants pour une épaisseur correspondant à une résistance thermique de 5 m²K/W.

Source : Isolation thermique et écologique J.P. Oliva et S. Courgey (d'après G. Escadeillas, Métamorphoses, Liège, 2011)

Critères de sélection

Les paramètres environnementaux sont encore au bas de l'échelle des critères de choix des matériaux !

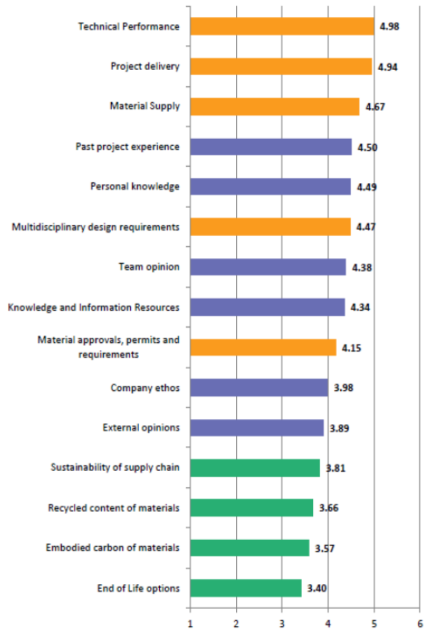


Figure 16 Rate the extent of influence that each factor has on decisions around material choice. (Online Survey)

Source : étude 2011 – CSI – Allemagne, Royaume-Uni, Etats-Unis, Brésil (d'après B. Mathieu, Métamorphoses, Liège, 2011)

Méthodes d 'évaluation

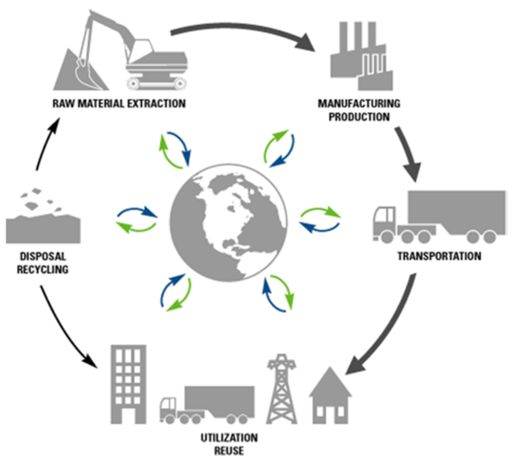
Les techniques et outils

Méthodes d'évaluation

Présentation synthétique des différentes méthodes	
Nom	Champ de l'étude
Check-list	Aide mémoire des points essentiels à prendre en compte lors de la conception/réalisation d'un projet.
Évaluation des Impacts sur l'Environnement (EIE)	Étude d'impact d'un projet ou d'une activité demandée par la législation.
Méthode quantitative d'Analyse de Cycle de Vie (ACV)	Évaluation des impacts au cours de toute la durée de vie du projet.
Méthode qualitative de certification	Évaluation d'un projet donnant lieu à une certification (label).
Méthode/Système de management environnemental (SME)	Système organisationnel adopté par l'entreprise en vue de contrôler l'impact de ses activités sur l'environnement sur base de 2 normes possibles: • norme internationale ISO 14001, • norme européenne EMAS (Environmental Management and Audit Scheme).

Méthodes d'évaluation

Analyse de Cycle de Vie (ACV)



Méthodes d'évaluation

Analyse de cycle de vie (ACV)

- Étude de l'ensemble des étapes du cycle de vie (« from craddle to grave »)
- Normalisation: série EN1404x
- Technique d'aide à la décision environnementale et à l'élaboration de politiques de développement durable
- Outil performant et reconnu

Ne traite que des aspects environnementaux (ni social, ni économique)

Méthodes d'évaluation

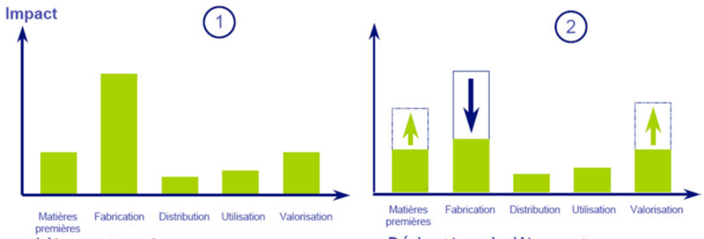
Évaluation des impacts environnementaux

Catégories d'impacts	
catégories orientées dommages	l'épuisement des ressources
	l'impact sur la santé humaine
	les impacts écologiques
catégories orientées problèmes	changements climatiques / réchauffement climatique
	destruction de l'ozone stratosphérique
	acidification
	eutrophisation
	formation d'agents photo-oxydants
	atteinte des ressources abiotiques
	atteinte des ressources biotiques
	utilisation des terres
	impact éco-toxicologique

Méthodes d’évaluation

Utilisations et applications d’une ACV

- Identifier les principaux impacts environnementaux
- Éviter les transferts de pollution



L’impact majeur sur l’environnement est généré lors de la fabrication

Réduction de l’impact en fabrication mais aggravation à d’autres étapes

Méthodes d’évaluation

Bases de données matériaux et systèmes pour le bâtiment

- *www.buildingmaterials.univ.edu* (Minnesota building material database) : Matériaux (155) , composants, ou systèmes d'un bâtiments avec des données concernant la durabilité, les coûts…données quantitatives et qualitatives (USA)

- *www.bauteilkatalog.ch* (catalogue constructions): Matériaux (150) , composants, ou systèmes d'un bâtiments, données quantitatives et qualitatives (Suisse)

- *www.eco-bau.ch* (Eco-devis): Matériaux, composants, ou systèmes (37) d'un bâtiments, données quantitatives et qualitatives (Suisse)

Outils d'évaluation

LeNSE et eNISTRA

Outils d'évaluation

Nom de la méthode	Outils développés
Check-list	SEEDA : South East England Development Agency
Étude d'Incidence sur l'Environnement (EIE)	Méthode matricielle développée par la F.U.L.
Méthode quantitative d'Analyse de Cycle de Vie (ACV)	Envest 2 est spécifiquement un outil d'analyse du cycle de vie, mesurant l'énergie intégrée et opérationnelle et les impacts environnementaux des stratégies de conception.
	EQUER : logiciel couplant un outil de simulation de cycle de vie avec un outil de simulation thermique pour fournir des indicateurs quantitatifs de la qualité environnementale.
Méthode qualitative donnant lieu à une certification	BREEAM : BRE Environmental Assessment Method, outil anglais développé pour évaluer les bâtiments.
	GB TOOL : Green Building Tool, outil canadien développé pour évaluer les bâtiments
	HQE : Haute Qualité Environnemental, démarche française développée pour évaluer les bâtiments et qui utilise le logiciel ESCALE.
	LEED USA : Leadership in Energy and Environmental Design, outil américain développé pour évaluer les bâtiments.
	LEnSE : Label for Environmental, Social and Economic Buildings, démarche européenne développée pour évaluer les bâtiments par le CSTC
	HQE Route Durable, outil français développé pour évaluer les projets routiers.
	Nistra, outil suisse d'évaluation de projets d'infrastructure routière, qui prend en compte les objectifs du développement durable.

Outils d'évaluation

LEnSE: Label for Environmental, Social and Economic Buildings

permet de tenir compte des spécificités régionales

3 piliers: environnemental, social et économique

Category	EU wide category weighting	Country specific category weighting			
		UK	Total	France	Total
Climate change	150	+ 50	200	+ 30	180
Biodiversity	100	+ 30	130	+ 50	150
Resource use	100	+ 15	115	0	100
Env. & Geophysical risk	50	0	50	+ 20	70
Occupant wellbeing	75	+ 25	100	+ 40	115
Security	30	+ 20	50	+ 10	40
Social and cultural value	65	0	65	0	65
Accessibility	70	+ 40	110	0	70
Financing and management	50	0	50	+ 30	80
Whole life value	60	+ 20	80	+ 15	75
Externalities	50	0	50	+ 5	55
Total	800	200	1000	200	1000

Outils d'évaluation

LEnSE: Label for Environmental, Social and Economic Buildings

Pilier social

- bien-être
- accessibilité
- sécurité
- valeur sociale et culturelle

	Sub issue	Intent	Potential indicators
Occupant wellbeing	Lighting comfort (artificial & natural)	Accounting for the contribution of daylight and adequate artificial lighting in creating a comfortable and productive internal environment for the building user.	■ Recommended maintained lighting levels (lux) ■ Provision of daylight (average daylight factor)
	Thermal comfort	Accounting for the integration and holistic consideration of factors that create thermally comfortable and productive internal environments.	■ Degree and type of thermal comfort analysis carried out ■ Performance standards for avoidance of overheating.
	Ventilation conditions	Accounting for ventilation rates in creating a comfortable and productive internal environment.	■ Litres of fresh air / second / person
	Acoustic comfort	Accounting for acoustics in creating a comfortable & productive internal environment.	■ Internal noise levels ■ Reverberation times ■ Sound insulation levels
	Occupant satisfaction	Accounting for user experience in creating a comfortable & productive internal environment.	■ Post completion monitoring ■ Occupant satisfaction surveys.
	Private space	Accounting for the provision of access to private space for building users/occupiers.	■ Proximity (m) ■ Size (m^2) ■ Type/facilities
	Outdoor space	Accounting for the provision of access to adequate external space e.g. gardens, parks, squares etc.	■ Proximity (m) ■ Size (m^2) ■ Type/facilities
	Materials/substance exclusion	Accounting for the specification of materials that are potentially dangerous to health, ensuring they are minimised or excluded.	■ VOC levels ■ Eco-labels ■ Materials exclusion clauses
	Indoor air quality	Accounting for and preventing high levels of internal pollutants and microbial contamination.	■ CO_2 levels (ppm) / ventilation controls ■ Design of humidification systems ■ Location of air intakes and extracts
	Quality of drinking water	Minimising the risk of microbial water contamination such as legionella.	■ Best practice design of domestic hot water system
	Building safety assessment	Accounting for a buildings spatial arrangement, access and services on the grounds of safety.	■ This issue requires further investigation to define a measurable for LEnSE.
Accessibility	Key amenities - provision and proximity	Accounting for the provision of amenities and services within the locality of the building e.g. doctors, shop, playground.	■ Number/type of amenities/services ■ Distance from building to amenities/services (m)
	Public transport accessibility	Accounting for the buildings accessibility level to public transport networks.	■ Distance to transport node (m) ■ No. of services and frequency (min)
	Provision of safe and adequate pedestrian route ways	Accounting for adequate and safe pedestrian routes that provide priority for pedestrians and direct links to amenities.	■ Best practice design and specification
	Provision of safe and adequate cycle lanes and cyclist facilities	Accounting for adequate and safe cycle paths that link up with external cycle route ways and onsite cyclist facilities.	■ Number of cycle racks & cyclist facilities ■ Best practice design and specification
	Provision of car pooling facilities	Accounting for policies that reduce reliance on the private motor vehicles and single occupant car journeys to work.	■ Car share spaces ■ Parking charges
Security	Site security and spatial arrangement	Accounting for security and the adoption of effective crime prevention strategies in the design/operation of the building.	■ Third party assessment and evaluation to relevant standards
	Building security	Accounting for the security risk from building elements such as windows, doors and facades.	■ Specification of buildings elements designed and tested to a relevant security standard.
Social and cultural value	Community impact consultation	Accounting for consultation with the community and appropriate stakeholders on the design/use of the building and its role within the local community.	■ Multi-criteria analysis and evaluation
	Social cost benefit analysis	Accounting for the local/regional social case for the building and its social benefits and costs.	Multi-criteria analysis e.g.: ■ Degree of social housing, ■ Health impact ■ Job creation etc.
	Socially responsible and ethical procurement of goods/services	Accounting for the ethical procurement of goods and services associated with the development/use of the building.	■ Evidence of purchasing policies
	Considerate Constructors	Accounting for the consideration of the local environment/community during the construction phase.	■ Adoption of a code(s) of practice Third party audit and certification
	External 'neighbourhood' impacts	Accounting for the building's impacts that could cause a nuisance to surrounding buildings. For example: noise and light pollution, over-shadowing, lack of privacy.	Multi-criteria, e.g: ■ Increase in background noise levels ■ External lighting levels
	Design quality	Accounting for the design quality of the building during the development of the initial brief through to detailed design.	■ Multi-criteria analysis via third party assessment process. ■ Adoption of relevant design codes.

Outils d'évaluation

LEnSE: Label for Environmental, Social and Economic Buildings

Pilier environnemental

- changement climatique
- biodiversité
- utilisation des ressources
- Management environnemental

	Sub issue	Intent	Potential indicators
Climate change	Building - depletion of non renewable primary energy	Accounting for building related primary energy production and its environmental impact in terms of CO_2 emissions and other greenhouse gas emissions.	■ Kg CO_2/m^2 ■ kWh/m^2
	Transport - depletion of non renewable primary energy	Accounting for the buildings impact and influence on transport related greenhouse gas emissions as a result of its location.	■ KgCO_2/person/year
	Use of renewable primary energy	Accounting for primary energy demand met via renewable energy sources.	■ Percentage of primary energy use met via renewable sources
	Destruction of the stratospheric ozone layer	Accounting for the destruction of the ozone layer caused by the manufacture and emission of refrigerants and acidifying pollutants.	■ Global warming potential
	Local tropospheric ozone formation	Accounting for the creation of low level ozone as a result of building related activities, for example NO_x emissions from a buildings heating source.	■ NO_x emission levels in mg/kWh
Biodiversity	Minimise point sources of eutrophication	Accounting for the building related point sources that contribute to the process of eutrophication.	■ Nitrogen/Nitrous Oxide to air/land
	Land of low ecological value	Accounting for the ecological value of the land selected for development.	■ Number of existing ecologically valuable species and habitats.
	Mitigating impact on existing site ecology	Accounting for the change in ecological value as a result of change in land use..	■ Number of plant species.
	Enhance native plant/animal species	Accounting for (and encouraging) the enhancement of a site as a result of development.	■ Number of plant species.
	Habitat management/action plan	Accounting for (and encouraging) the ongoing maintenance of a new or existing site species/habitats.	■ Best practice guidelines
Resource use	Depletion and use of renewable and non renewable resources (other than primary energy)	Accounting for the specification and life cycle impacts of the buildings materials and key building elements.	■ LCA performance of material/element
	Responsible sourcing of materials	Accounting for the sourcing of materials such as timber, cement, aggregate, metals etc.	■ Certification schemes e.g. FSC, CSA, ISO
	Non hazardous waste disposal	Accounting for the non hazardous waste production.	■ Waste generation by volume $m^3/100m^2$ ■ % waste for key materials.
	Hazardous waste to disposal	Accounting for hazardous waste production and disposal.	■ This issue requires further investigation to define a measurable for LEnSE.
	Use of freshwater resources	Accounting for building occupants water consumption	■ m^3/person/year
	Re-use of previously developed sites	Accounting for unsustainable land use changes.	■ Percentage of the site previously developed.
	Development footprint	Accounting for the sustainable use of land for building and associated infrastructure e.g. avoiding building 'sprawl'	■ Dwellings per hectare ■ A ratio of no. of floors to building footprint
	Contaminated land, bio-remediation and soil re-use	Accounting for the sustainable benefits of contaminated land remediation.	■ Percentage of site contaminated ■ Degree of contamination ■ Level of bioremediation.
Env. management & Geophysical risk	Certified Environmental Management System	Accounting for developers and building owners that have an appropriate management plan to mitigate organisational environmental impacts.	■ Certified EMS to ISO14001 EMAS
	Minimising regional specific climatalogical risk	Accounting for country/region specific climatalogical impacts through building design, use and operation.	■ The measurable will be dependent on the relevant climatalogical risks in each country/region.
	Minimising regional specific geophysical risk	Accounting for country/region specific geophysical impacts through building design, use and operation.	■ The measurable is dependent on the relevant geological risks in each country/region.

Outils d'évaluation

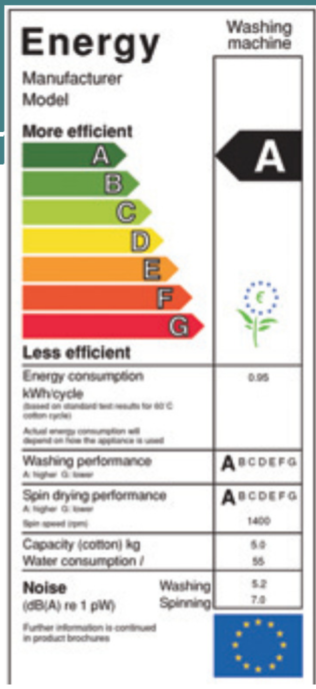
LEnSE: Label for Environmental, Social and Economic Buildings

Pilier économique

- Finance et management
- Externalités
- Value sur la durée de vie

	Sub issue	Intent	Potential indicators
Financing and management	Function analysis	Developing a systematic breakdown of the buildings functional requirement, concentrating on the actual needs, aspirations and wants of the client and project stakeholders.	■ This issue requires further investigation to define a measurable for LEnSE.
	Risk & value management	Maximising building value and reducing risk by establishing a clear consensus about the project objectives and how they can be achieved. This sub issue is linked to the function analysis sub issue.	■ This issue requires further investigation to define a measurable for LEnSE.
Whole life value	Life Cycle Costs appraisal - Strategic level Life Cycle Costs appraisal - Component level	Accounting for Life Cycle Costs of a building in a co-ordinated and standardised manner so that the information can be used to aid decision making concerning the design options that provide best value.	■ Net Present Value ■ Internal rate of return ■ Ratio of build: maintenance: staff costs
	Option appraisal	Using multi criteria analysis, including risk and value management and LCC, to appraise design and make decisions based on best value and not just costs.	■ This issue requires further investigation to define a measurable for LEnSE.
	Exchange value	Accounting for the buildings value and as a commodity to be traded.	■ Book value ■ Return on capital
	Added value	Accounting for the 'use value' to the building owner or occupier that arises from the process that building is built for and its contribution to organisational outcomes and repeat business.	Multi-criteria, examples may include; ■ Total cost of occupancy vs. profitability. ■ Total cost of occupancy vs. exam results, recovery rates ■ Operating costs per head, ■ Absenteeism, staff turnover, staff satisfaction
	Building adaptability	Accounting for flexibility of building infrastructure (services, IT, spatial design) that ensure connectivity and environmental quality through multiple organisational iterations.	■ Modular construction ■ Wireless networks ■ Buildings for life, ergonomics, disabled access etc.
	Design for maintainable buildings / Ease of maintenance	Accounting for buildings that considered ongoing short and long term maintenance requirements.	■ This issue requires further investigation to define a measurable for LEnSE.
Externalities	Local employment opportunities/use of local services Specification/use of locally produced materials	Accounting for the buildings economic costs and benefits to the region and its contribution to ongoing economic sustainability.	■ Purchasing policies ■ Materials/services purchased within site locality (km) ■ Economic cost benefit analysis.
	Branding and external expression	Accounting for the contribution to corporate identity, organisational values and commitment to design excellence/technical innovation as part of a brand image.	■ This issue requires further investigation to define a measurable for LEnSE.

Outils d'évaluation



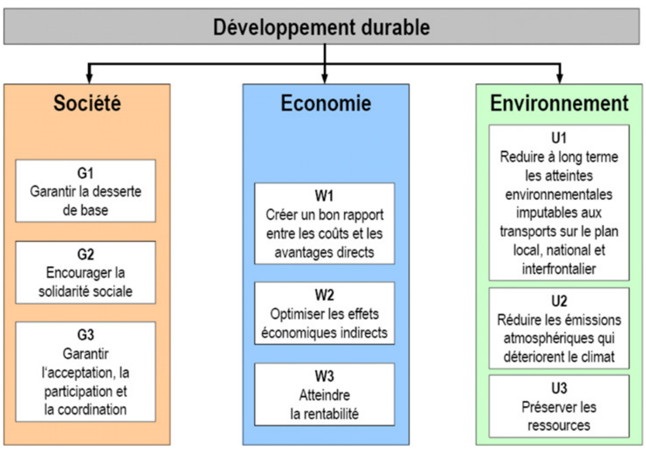
LEnSE: Label for Environmental, Social and Economic Buildings

Outil d'évaluation

- Niveau de performance de A à G
- Exemple d'éco- label européen pour les machines à laver

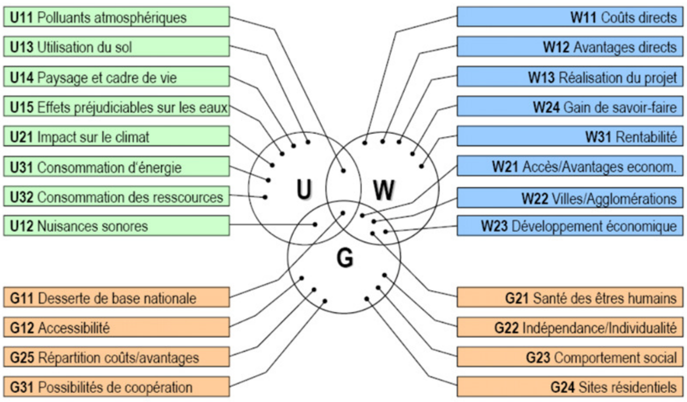
Outils d'évaluation

eNISTRA: méthode d'évaluation des infrastructures routières (Suisse)



Outils d’évaluation

eNISTRA: objectifs partiels



CRR et TFE M. Nemes: Evaluation de la Qualité Environnementale des constructions dans le domaine du génie civil (2008)

Applications

Un hall industriel

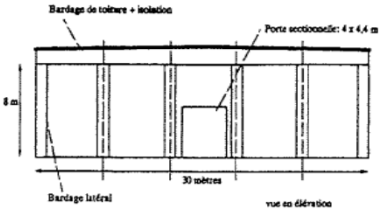
Les pierres naturelles

Application: hall industriel

Comparaison hall industriel

Cas d'étude

- poutres/colonnes en béton armé
- poutres/colonnes en acier
- poutres en lamellé/collé et colonnes en béton armé



Evaluation environnementale des matériaux et des procédés de construction : application de l'analyse de cycle de vie à la construction d'un hall industriel. L. Courard, Ph. Teller. Mater. Struct., 34 (Août-Septembre 2001), 404-412.

Application: hall industriel

Comparaison hall industriel

Calcul des écopoints pour la production de 1 m³ de béton

Rejets	Béton fondation			Béton propreté		
	Émissions spécifiques	Éco-facteurs	Éco-points	Émissions spécifiques	Éco-facteurs	Éco-points
Consommation énergie (MJ)						
Équivalent énergétique	1239	0,497	615,4	810	0,497	402,3
Émissions atmosphériques (g)						
CO (monoxyde de carbone)	504	0,775	390,1	335	0,775	259,4
NOx (oxyde d'azote)	886	6,541	5797,9	710	6,541	4644,1
SO2 (dioxyde de soufre)	429	2,468	1059,3	210	2,468	518,7
HCl (acide chlorhydrique)		6,541	0,0		6,541	0,0
NH3 (ammoniaque)	0,220	16,771	3,7	0,180	16,771	3,0
N2O (oxyde nitreux)	39	37,915	1491,2	25	37,915	928,9
Comp. organiques volatils	80	10,722	862,3	78	10,722	837,3
CO2 (dioxyde de carbone)	508360	0,009	4772,2	501760	0,009	4710,3
Rejets dans l'eau (g)						
COD (demande chimique en oxygène)	0,126	4,074	0,5	0,096	4,074	0,4
BOD (demande biologique en oxygène)	0,042	11,735	0,5	0,032	11,735	0,4
Nitrates	0,008	22,896	0,2	0,008	22,896	0,2
Déchets solides (g)						
Déchets industriels	18572	0,099	[illegible]	7784	0,099	[illegible]
TOTAL	-	-	16445	-	-	12817

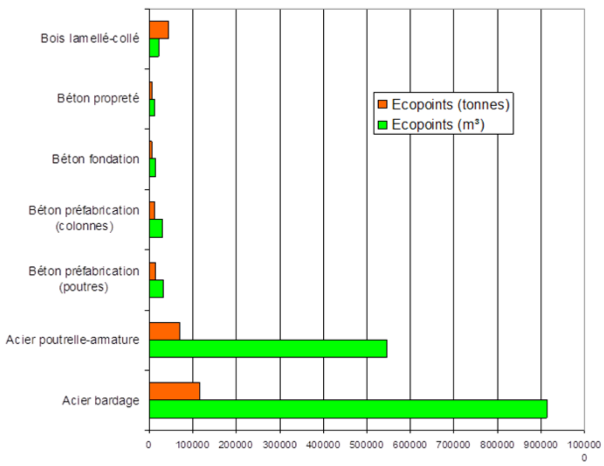
Application: hall industriel

Comparaison hall industriel

Matériau	Ecopoints (m^3)	Ecopoints (tonnes)
Acier bardage	914525	116520
Acier poutrelle-armature	547380	69730
Béton préfabrication (poutres)	33847	14403
Béton préfabrication (colonnes)	31682	13656
Béton fondation	16445	7091
Béton propreté	12817	5800
Bois lamellé-collé	22075	44150

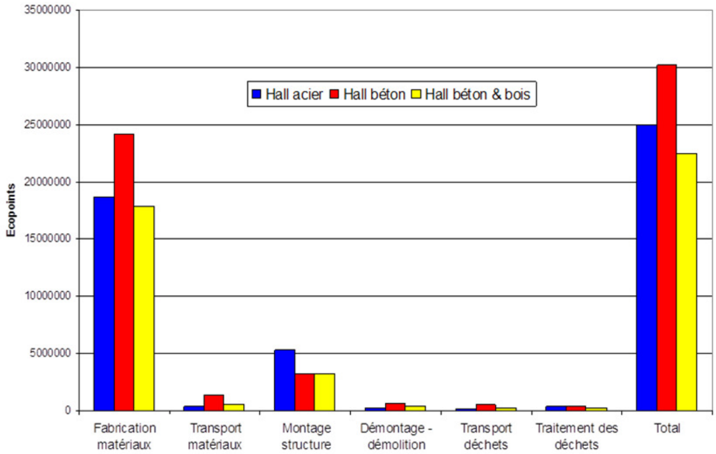
Application: hall industriel

Comparaison hall industriel



Application: hall industriel

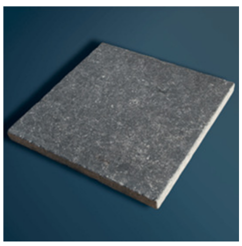
Comparaison hall industriel



Application: pierres naturelles

Compétition déloyale de l'Asie?

Proximité et qualité ⟺ Exotisme et bas prix



Prix imbattables
Besoin d'arguments
pour les produits belges

⇓

ENVIRONNEMENT

Source : LCA as decision tool for sustainable choices in mineral materials field: environmental declarations of Belgian products and their foreign equivalents. S. Belboom, R. Renzoni, A. Léonard, F. Tourneur, Laboratoire de génie chimique, Université de Liège, 2013

Application: pierres naturelles

Unité fonctionnelle

- 1000 m² de pavage

Frontières du système

- Production des dalles/pavés
- Extraction
- Façonnage
- Transport du site de production à Bruxelles
- Mise en œuvre

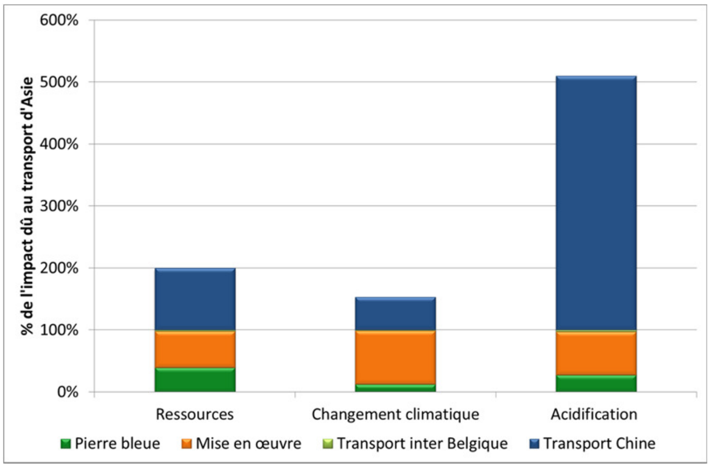
Application: pierres naturelles

Pierre bleue *vs* pierre chinoise

Catégorie d'impact	Production Pierre bleue	Mise en œuvre	Transport Inter-Belgique	Transport Chine – Belgique	Impact Pierre chinoise
Énergie primaire	1381,46 MJ	2046,28 MJ	72,37 MJ	3493,5 MJ	6921,2 MJ
Changement climatique	55,44 kg $_{eq}CO_2$	386,30 kg $_{eq}CO_2$	4,56 kg $_{eq}CO_2$	236,55 kg $_{eq}CO_2$	681,85 kg $_{eq}CO_2$
Acidification	0,28 kg $_{eq}SO_2$	0,73 kg $_{eq}SO_2$	0,036 kg $_{eq}SO_2$	4,26 kg $_{eq}SO_2$	5,3 kg $_{eq}SO_2$

Application: pierres naturelles

Pierre bleue *vs* pierre chinoise



Application: pierres naturelles

Conclusions

L'impact du seul transport d'Asie est équivalent à l'impact de la production et de la mise en œuvre des produits belges

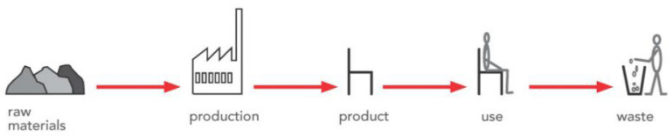
L'impact est doublé pour les produits asiatiques

- Changement climatique
- Énergie primaire
- Acidification

Concepts et principes

Eco-efficacité et éco-bénéficience

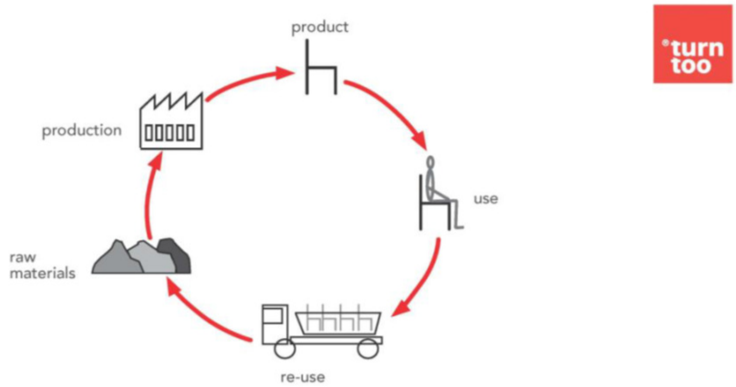
Eco-bénéficience



OLD LINEAR ECONOMY - is about ownership

SOURCE: S. BECKERS (d'après M. BRAUNGART –EPEA, Cradle to Cradle)

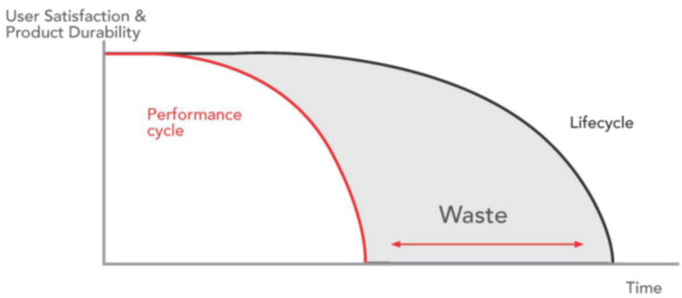
Eco-bénéficience



C2C - TECHNICAL NUTRIENT CYCLE

SOURCE: S. BECKERS (d'après M. BRAUNGART –EPEA, Cradle to Cradle)

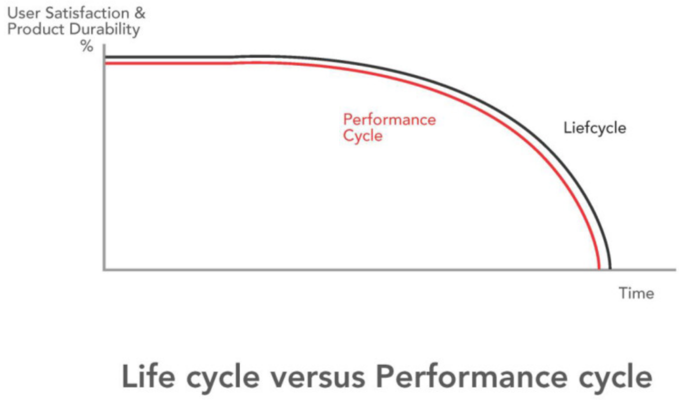
Eco-bénéficience



Life cycle versus Performance cycle

SOURCE: S. BECKERS (d'après M. BRAUNGART –EPEA, Cradle to Cradle)

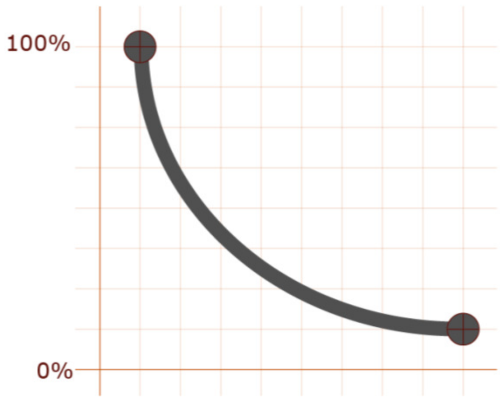
Eco-bénéficience



SOURCE: S. BECKERS (d'après M. BRAUNGART –EPEA, Cradle to Cradle)

Eco-efficacité

Craddle to grave



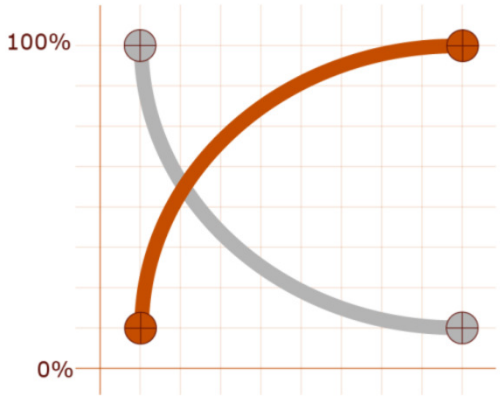
REDUIRE,
EVITER,
MINIMISER,
PREVENIR..

Éco-efficacité =
faire MOINS MAL

SOURCE: S. BECKERS (d'après M. BRAUNGART –EPEA, Cradle to Cradle)

Eco-bénéficience

Craddle to craddle



Éco-bénéficience = faire BIEN

DEFINIR,
AUGMENTER,
SUPPORTER,
OPTIMISER

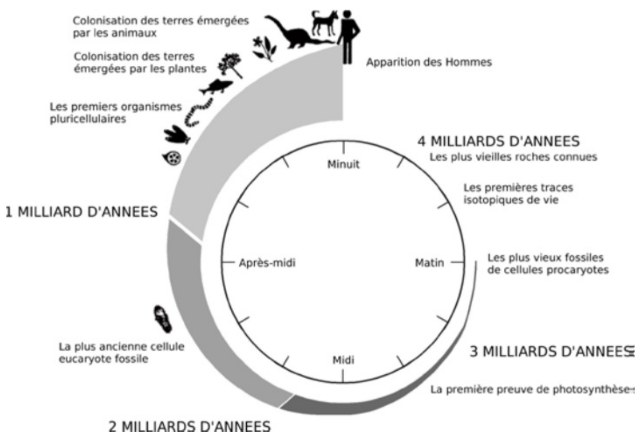
Éco-efficacité = faire MOINS MAL

SOURCE: S. BECKERS (d'après M. BRAUNGART –EPEA, Cradle to Cradle)

Eco-bénéficience

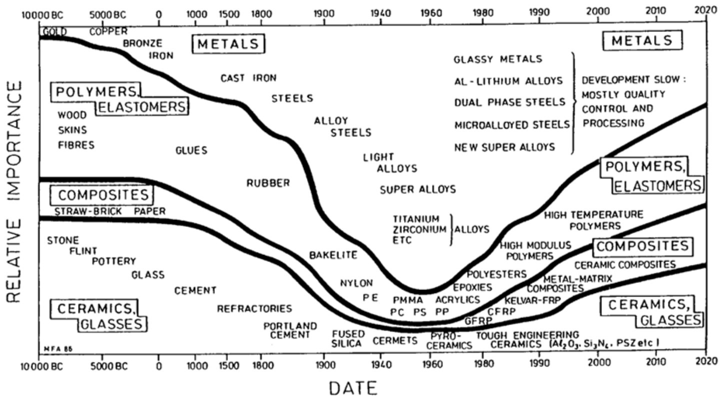
Evolution de l'homme

Le cadran de 12 h représente les 4,5 milliards d'années de la terre. Les premiers Hommes n'apparaissent qu'à 11 h 59 min et 43 sec



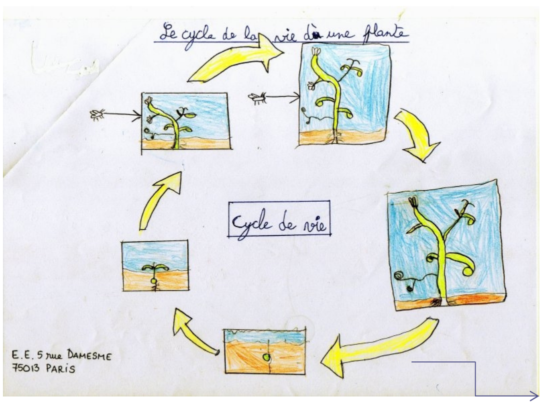
Eco-bénéficience

Evolution des matériaux



Eco-bénéficience

Cycle de vie biologique



= nutriment

Eco-bénéficience

Concevoir les déchets comme des « nutriments »

Concevoir des produits comme des produits de service

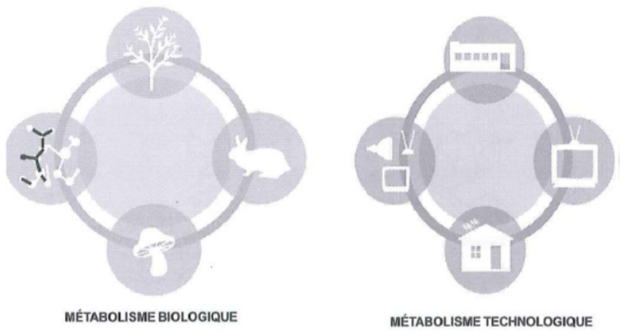
- cela implique de les fabriquer en vue de leur désassemblage
- l'industrie n'a plus besoin de créer des objets plus durables que nécessaire
- un immeuble de bureaux ou de magasins doit être construit de façon à s'adapter à des générations successives (notion de sur-cyclage)

Avantages du système (3)

- n'engendre aucun déchet inutile
- permet aux fabricants d'épargner des milliards d'Euros en métaux précieux
- des nutriments techniques circulent en permanence …

Eco-bénéficience

Biosphère Technosphère



« Il faut séparer les cycles bio- et techno- si on ne veut pas qu'un produit devienne un déchet (p.e. bois + vernis) »

SOURCE: S. BECKERS (d'après M. BRAUNGART –EPEA, Cradle to Cradle)

Conclusions et perspectives

Demain, les matériaux

Conclusions

Notre façon de concevoir doit changer .....

- Se libérer de responsables identifiés "nocifs", "toxiques", …
- Suivre des préférences personnelles fondées (respect, intelligence écologique, bien-être, …)
- Favoriser la diversité
- Concevoir des nutri-matériaux

La nature l'a fait …, pourquoi pas nous?

Remerciements

Angélique Léonard et Sandra Belboom, Laboratoire de Génie Chimique, Université de Liège

Frédéric Michel, Laboratoire des Matériaux de Construction, Université de Liège

Steven Beckers, Lateral Thinking Factory

Christophe Rademaker, étudiant au MST

Gilles Escadeillas et Louis Demilecamps