

# LE BÉTON ET LA CONSTRUCTION DURABLE

- CONCEPTS
- CONTEXTUALISER SON PROJET
- COMMUNIQUER LA DURABILITÉ



L'urgence d'appliquer les principes du développement durable au secteur de la construction n'est aujourd'hui plus à démontrer et pourtant, la notion même de construction durable est encore mouvante et sa définition est parfois trop restrictive. Ce document propose une définition et donne un aperçu de la place qu'y prend le matériau béton. Six « contextes » sont utilisés pour structurer une série de critères d'ordre qualitatifs. L'ordre proposé donne une idée des priorités et sert de base à la réflexion, mais doit être adapté selon le cas : localisation, type de chantier... Il apparaîtra que chacun des acteurs d'une construction doit avoir conscience de l'interconnexion des différents critères et adopter une vision globale.

## LES CONTEXTES

Le Feu / la Terre / l'Air / l'Eau / le Vivant / le Social

## LA CONSTRUCTION DURABLE

Comment « contextualiser » son projet ? Démarche systématique et globale à chaque échelle du projet, à chaque phase du processus de conception et du cycle de vie de celui-ci :

### FABRIQUER LES MATÉRIAUX

Réunir les informations relatives aux produits et procédés utilisés dans une construction est fondamental, il faut tenir compte de toutes les phases de leur cycle de vie. Le béton est le matériau de construction le plus utilisé au monde. Ses usages sont multiples, mais comment se situe-t-il par rapport aux autres matériaux ?

### CONCEVOIR LE PROJET

Une construction durable ne peut l'être que si elle est conçue comme telle dès les premiers traits de l'esquisse et jusqu'à la mise en œuvre des détails de construction. C'est donc la phase critique pour aboutir à une construction réellement durable.

### RÉALISER LES TRAVAUX

La phase de chantier, qu'elle soit pour une rénovation ou une construction neuve, comprend aussi la démolition éventuelle de parties, ainsi que les transformations et les phases d'entretien qui se succéderont au cours de la vie de la construction. C'est généralement une phase courte, mais les nuisances et pollutions qu'elle peut générer ne doivent plus être négligées.

### HABITER LE LIEU

Bien qu'elle soit interrompue à intervalles plus ou moins réguliers par les entretiens et les éventuels travaux d'amélioration, la phase d'utilisation est, en toute logique, la plus longue. Qu'il s'agisse d'infrastructure ou de bâtiments, le comportement des occupants et des utilisateurs peut avoir des effets importants à long terme.

## COMMUNIQUER LA DURABILITÉ

La notion de construction durable touche l'ensemble des acteurs du secteur de la construction. Chacun doit œuvrer à son niveau et cette dernière partie montre l'importance de la sensibilisation et présente le cadre normatif actuel et son évolution.

# LES CONTEXTES

Les trois piliers du développement durable sont : l'environnement, le social et l'économique. Ils prennent ici la forme de six contextes : la Terre, le Feu, l'Air, l'Eau, le Vivant et le Social. Ce choix est évidemment arbitraire, mais permet d'avoir une vision d'ensemble (voir tableau synoptique aux pages suivantes). Il faut garder à l'esprit que les contextes sont interdépendants et que l'ordre dans lequel ils sont présentés ne reflète qu'un ordre de priorité relatif.



Fig. 1 : Ancienne meunerie réaménagée en habitation et bureaux (arch. Bureau voor Architectuur®, photo A.Nullens)



Fig. 2 : Habitation neuve à Nederkerkeel (Ma Maison Mon Architecte, Edition 2009) "...l'habitation est chauffée et refroidie de façon passive au moyen d'une pompe à chaleur, le bruit des avions qui décollent et qui atterrissent est gardé sous contrôle grâce à des détails techniques bien pensés." (arch. HASA, photo A. Nullens)

<p>ENJEUX DU DEVELOPPEMENT DURABLE</p> <p><b>LES CONTEXTES</b></p>	<p><b>1. FEU</b></p>	<p><b>2. TERRE</b></p>
		
	<p><b>ÉNERGIE LUMIÈRE</b></p>	<p><b>ÉTENDUE RESSOURCES</b></p>
<p><b>Patrimoine/ressources</b></p>	<p>Les différentes sources d'énergie : les vecteurs énergétiques</p> <p>Les sources d'énergies renouvelables (SER)</p>	<p>Notre support</p> <p>Le paysage</p>
<p><b>Cycle (Formation / assimilation / régénération) et notions associées</b></p>	<p>Efficacité énergétique (EE)</p> <p>Utilisation rationnelle de l'énergie (URE)</p>	<p>Empreinte écologique</p> <p>Mobilité : transport et accessibilité</p>
<p><b>Constats</b></p>	<p>Réchauffement global à la surface de la planète</p> <p>Épuisement des combustibles fossiles</p> <p>Croissance rapide de la demande en énergie</p> <p>Augmentation du rayonnement ultraviolet et des émissions électromagnétiques</p>	<p>Pollution en profondeur et appauvrissement des sols</p> <p>Érosion accélérée des côtes</p> <p>Pollution des plaines océaniques et côtières</p> <p>Démultiplication des réseaux de transports routiers</p>

3. AIR	4. EAU	5. VIVANT	6. SOCIAL
			
<b>ATMOSPHÈRE ACOUSTIQUE</b>	<b>SOURCE DE VIE</b>	<b>BIODIVERSITÉ</b>	<b>ÉCONOMIE PATRIMOINE</b>
<p>Il nous protège On le respire</p>	<p>Source et condition de vie Présente dans toute chose</p>	<p>La faune et la flore (biocénose)</p>	<p>Les hommes et leur bien-être socio-économique</p>
<p>Effet de serre et gaz à effet de serre (GES) : CO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>,...</p> <p>Réduction de la couche d'ozone stratosphérique</p> <p>Formation d'ozone troposphérique</p> <p>Gaz acidifiants</p> <p>Particules fines</p> <p>Composés organiques volatiles (COV)</p>	<p>Pollutions diverses et eutrophisation</p> <p>Traitement des eaux usées</p> <p>Qualités et mémoire de l'eau</p>	<p>Biodiversité des écosystèmes</p> <p>Santé</p> <p>Hygiène</p> <p>Patrimoine médical et génétique</p>	<p>Population</p> <p>Urbanisation</p> <p>Malnutrition</p> <p>Éducation</p> <p>Économie et finances locales et globales</p> <p>Revenu moyen et pouvoir d'achat</p> <p>Patrimoine culturel et spirituel</p> <p>Normes / Législation</p>
<p>Augmentation rapide du taux de CO<sub>2</sub> de l'atmosphère</p> <p>Dérèglement climatique à cause des GES</p> <p>Qualité de l'air médiocre à l'intérieur des habitations (COV, poussières...) ou à l'extérieur (smog)</p>	<p>Pollution des océans, rivières, fleuves et nappes</p> <p>Fonte des glaciers et élévation du niveau des océans</p> <p>Modification des courants marins</p> <p>Inondations, sécheresse et désertification</p> <p>Pluies acides et pénuries d'eau douce</p>	<p>Effondrement de la biodiversité</p> <p>Destruction des paysages sauvages et déforestation</p> <p>Dissémination d'OGM</p> <p>Maladie des coraux et disparition des grands poissons</p> <p>Disparition des insectes pollinisateurs</p> <p>Apparition de nouveaux virus</p>	<p>Population mondiale : 6,8 milliards en mars 2010</p> <p>La consommation croît plus vite que la population</p> <p>Grands écarts de revenu au niveau local et global</p> <p>Malnutrition et problème d'accès à l'eau potable</p> <p>Difficulté d'accès au logement et à la propriété</p>

photos : Frederico Stevanin \*, (anonyme) \*, Lydia Jacobs \*\*, Francesco Marino \*, Christian Meyn \*, Bobby Mikul \*\*  
sources : \* freedigitalphotos.net, \*\* publicdomainpictures.net

# LA CONSTRUCTION DURABLE

Les termes « développement durable » sont parfois utilisés à tort et à travers... S'ils sont encore actuellement massivement perçus comme positifs, combien de temps faudra-t-il avant que cette popularité disqualifie le concept dans sa globalité ? En 1987 déjà, le rapport Brundtland des Nations-Unies, « *Our Common future* », a présenté un constat de l'état respectif de l'environnement et du développement (social, économique, culturel, politique) au niveau mondial. Celui-ci qualifie le « développement » de « soutenable » lorsqu'il « répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs ».

Qu'on parle d'architecture bioclimatique ou soutenable, d'éco-construction ou de construction durable, l'essentiel est de faire « co-habiter », à chaque échelle du projet et à chaque phase du cycle de vie de l'ouvrage, les choses et les gens dans leurs contextes.

La figure 3 montre qu'un ensemble d'acteurs intervenant directement ou indirectement sur un ouvrage donné peut être associé à chacune des échelles du projet. Les différents acteurs ne sont pas tous concernés en même temps. La figure 4 rappelle les principales phases du cycle de vie d'un ouvrage qui seront détaillées aux prochains chapitres.

Matériau Système		Fabricants/Distributeurs Installateurs Utilisateurs
Bâtiment		Architectes Entreprises Habitants
Ville		Citoyens Instances nationales ou régionales
Territoire		Concitoyens Instances internationales

Fig. 3 : Les échelles du projet et les acteurs correspondants

photos : Peter Griffin (publicdomainpictures.net), Hannes Keller (visipix.com), Michel Sterling (publicdomainpictures.net), NASA (earthobservatory.nasa.gov)

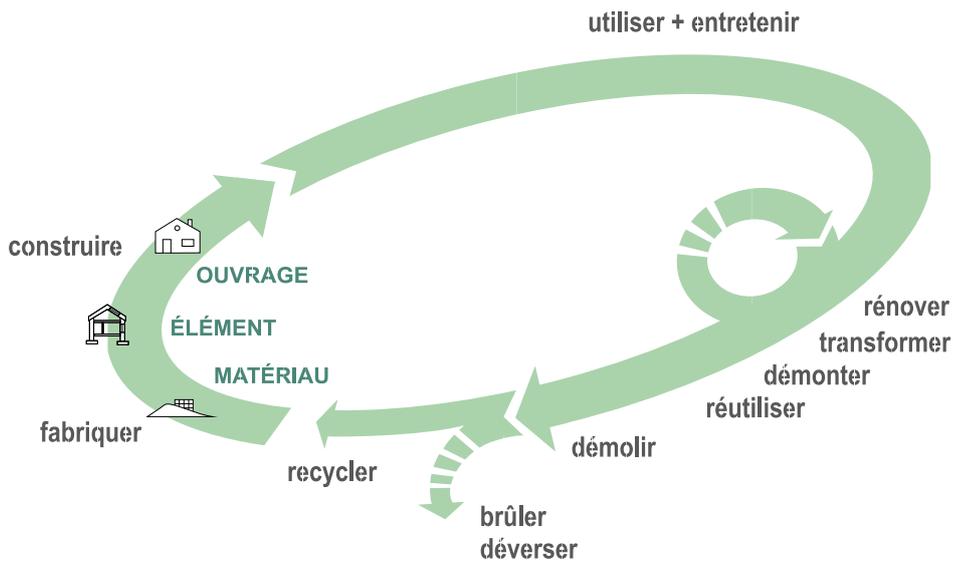


Fig. 4 : La durée de vie totale d'un ouvrage est caractérisée par différentes étapes successives : la confection des matériaux, la préfabrication en usine ou la réalisation sur chantier, l'utilisation optimisée par des entretiens adéquats, des transformations éventuelles, le recyclage en fin de vie... NB: Dans le schéma, le terme 'élément' indique une subdivision fonctionnelle de l'ouvrage (p.ex. mur extérieur), généralement constituée de plusieurs matériaux (p.ex. parement + isolant + mur porteur + finition intérieure). (source : FEBELCEM)

Pour assurer cette « co-habitation », et donc tendre vers ce qu'on peut appeler la construction durable, il faudra « contextualiser » son projet, tout au long du processus de conception, ainsi qu'à chaque échelle de celui-ci, et prolonger la démarche à chaque phase de son cycle de vie. La figure 5 illustre que pour chacun des 6 contextes, il faudra systématiquement optimiser la manière de :

- BÉNÉFICIER des apports positifs du contexte ;
- SE PROTÉGER des nuisances du contexte ;
- FAIRE BÉNÉFICIER le contexte de ce qui peut lui être positif ;
- PROTÉGER le contexte des nuisances qu'il pourrait subir.

Cette démarche induit à énoncer une série non-exhaustive de points sensibles rencontrés lors de ce processus. Ces points sont repris dans le tableau figurant aux pages suivantes. Certains thèmes seront développés plus loin, d'autres sortent du cadre de la présente publication.

De nombreuses méthodes existent en parallèle et une bonne vision d'ensemble est nécessaire pour que chaque intervenant puisse évaluer le rapport coût-bénéfice de ses initiatives. Ces méthodes seront abordées au dernier chapitre.

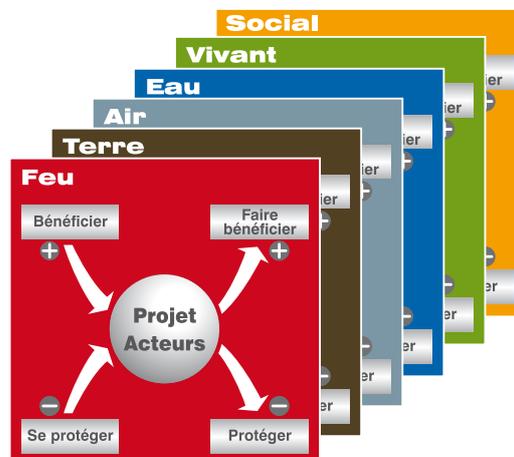


Fig. 5 : « Contextualiser » son projet (source : Architecture et Climat)

# CONTEXTUALISER LE PROJET

	1. FEU	2. TERRE
<b>FABRIQUER LES MATÉRIAUX</b>	<p><b>Comptabiliser l'énergie grise (M.1.1)</b></p>	<p><b>Connaître la composition des matériaux (M.2.1)</b></p> <p>Quantifier la consommation en ressources (M.2.2)</p> <p><b>Evaluer les filières de recyclage des déchets (M.2.3)</b></p>
<b>CONCEVOIR LE PROJET</b>	<p><b>Minimiser la consommation d'énergie (C.1.1)</b></p> <p><b>Choisir le type d'énergie à utiliser (C.1.2)</b></p> <p><b>Garantir le confort thermique et visuel (C.1.3)</b></p>	<p><b>Limiter la consommation d'espace (C.2.1)</b></p> <p>Anticiper les besoins en transport induit par le choix du site (C.2.2)</p> <p>Qualifier l'espace intérieur et extérieur (C.2.3)</p> <p>Favoriser l'accessibilité et la mobilité douce (C.2.4)</p>
<b>RÉALISER LES TRAVAUX</b>	<p><b>Minimiser la consommation d'énergie (T.1.1)</b></p> <p>Vérifier les températures de surface (T.1.2)</p>	<p><b>Maîtriser la production de déchets (T.2.1)</b></p> <p><b>Maîtriser la consommation en matériaux et le transport induit (T.2.2)</b></p>
<b>HABITER LE LIEU</b>	<p>Minimiser la consommation d'énergie (H.1.1)</p> <p>Assurer les entretiens et la maintenance du système de chauffage (H.1.2)</p> <p>Alimenter en combustible (H.1.3)</p>	<p>Maîtriser la production de déchets (H.2.1)</p> <p>Adopter une mobilité douce (H.2.2)</p> <p>Assurer les entretiens et la maintenance de la construction (H.2.3)</p>

**NB : Seuls les thèmes en gras sont abordés dans la suite de cette publication, dont l'ambition n'est pas de fournir une « check-list » complète. Ainsi, l'attention s'est portée en premier lieu sur les thèmes qui présentent une valeur d'actualité certaine et pertinente par rapport au matériau béton. Les rubriques du chapitre « Habiter le lieu » ne sont pas élaborées car la plupart de celles-ci se situent à un niveau plus général et s'adressent plutôt à l'utilisateur.**

3. AIR	4. EAU	5. VIVANT	6. SOCIAL
<p><b>Quantifier les émissions de gaz à effet de serre (M.3.1)</b></p> <p>Quantifier les émissions de gaz acidifiants et d'ozone troposphérique (M.3.2)</p> <p>Analyser les émissions qui présentent un risque pour la santé (M.3.3)</p>	<p>Analyser les consommations et les rejets d'eau (M.4.1)</p>	<p>Réduire l'impact sur le biotope (M.5.1)</p>	<p>Favoriser les emplois locaux (M.6.1)</p> <p>Garantir la transparence et la concertation (M.6.2)</p> <p>Garantir la sécurité au travail (M.6.3)</p> <p><b>Développer de nouveaux matériaux (M.6.4)</b></p> <p><b>Etablir une déclaration environnementale (M.6.5)</b></p>
<p><b>Éviter les infiltrations d'air non maîtrisées (C.3.1)</b></p> <p><b>Assurer la qualité de l'air intérieur (C.3.2)</b></p> <p><b>Assurer le confort acoustique (C.3.3)</b></p>	<p><b>Valoriser l'eau de pluie (C.4.1)</b></p> <p><b>Traiter les eaux usées (C.4.2)</b></p> <p><b>Définir des zones de sols perméables (C.4.3)</b></p>	<p>Valoriser la biodiversité (C.5.1)</p> <p><b>Intégrer des toitures végétales (C.5.2)</b></p> <p>Agrémenter les espaces grâce au végétal (C.5.3)</p>	<p><b>S'assurer de l'adéquation dans le temps (C.6.1)</b></p> <p>S'assurer de l'adéquation économique et de la sécurité (C.6.2)</p> <p>S'assurer de l'adéquation sociale et culturelle (C.6.3)</p>
<p>Vérifier l'étanchéité à l'air (T.3.1)</p> <p>Limiter les nuisances et le dégagement de poussières (T.3.2)</p>	<p>Minimiser la consommation d'eau (T.4.1)</p> <p>Prétraiter les rejets (T.4.2)</p>	<p>Préserver la faune et la flore existantes (T.5.1)</p>	<p>Répondre aux attentes (T.6.1)</p> <p>Garantir la sécurité sur le chantier (T.6.2)</p> <p>Informier et sensibiliser (T.6.3)</p>
<p>Assurer les entretiens et la maintenance du réseau de ventilation (H.3.1)</p>	<p>Minimiser la consommation d'eau (H.4.1)</p> <p>Assurer les entretiens et la maintenance du réseau d'eau (H.4.2)</p> <p>Limiter la production d'humidité dans les locaux (H.4.3)</p>	<p>Préserver la faune et la flore environnantes (H.5.1)</p>	<p>Veiller à son bien-être et à celui des autres (H.6.1)</p> <p>Evaluer le rapport coût/bénéfice de ses initiatives (H.6.2)</p> <p>Veiller à sa sécurité et à celle des autres (H.6.3)</p>

# FABRIQUER LES MATÉRIAUX



Fig. 6 : « Contextualiser » les matériaux (source : Architecture et Climat)

## ■ M.1.1 Comptabiliser l'énergie grise

L'énergie grise est l'énergie qui a été consommée pour l'extraction, la production, le transport et le traitement en fin de vie d'une « *unité fonctionnelle* » ou « *unité déclarée* » (voir encart aux pages suivantes pour plus d'explications sur ces termes) d'un matériau ou élément de construction. Les différents vecteurs énergétiques devraient en fait être comptabilisés de manière distincte.

De nombreuses sources de données existent pour les matières premières et les produits finis (FR, CH, CAN, UK, NZ...), mais il n'est pas toujours évident d'évaluer leur fiabilité et les comparaisons sont parfois difficiles (autres hypothèses, présentation incompatible des résultats...). Les écarts sont parfois grands.

A titre indicatif, les figures 7 et 8 donnent une première vue d'ensemble sur l'énergie grise des principaux matériaux. Elles montrent la grande différence qui peut exister selon que les résultats sont exprimés en volume ou en masse du matériau.

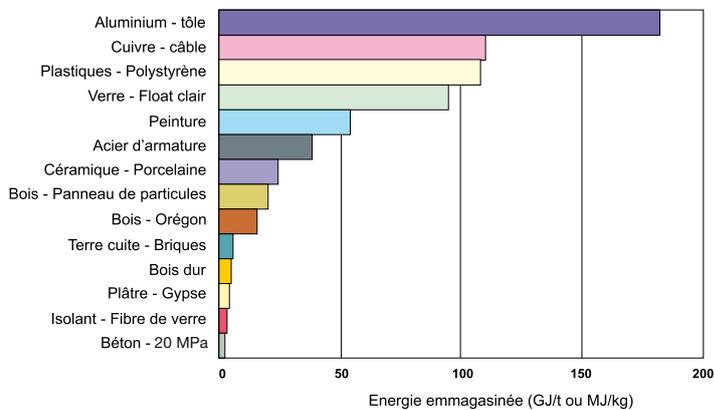


Fig. 8 : Energie grise de différents matériaux en GJ/tonne  
(source : Tucker S., CSIRO Construction and Engineering, Highett (AU), 2000)

MATÉRIAU	ÉNERGIE GRISE	
	MJ/kg	MJ/m³
granulat	0,10	150
botte de paille	0,24	31
sol-ciment	0,42	819
pierre (locale)	0,79	2030
bloc béton	0,94	2350
béton (30 Mpa)	1,3	3180
béton préfa	2,0	2780
bois de charpente	2,5	1380
brique	2,5	5170
isolation cellulose	3,3	112
plaque de plâtre	6,1	5890
panneau de particules	8,0	4400
aluminium (recyclé)	8,1	21870
acier (recyclé)	8,9	37210
bardeaux (bitumineux)	9,0	4930
contreplaqué	10,4	5720
isolation laine de roche	14,6	139
verre	15,9	37550
isolation laine de verre	30,3	970
acier	32,0	251200
zinc	51,0	371280
laiton	62,0	519560
PVC	70,0	93620
cuivre	70,6	631164
peinture	93,3	117500
linoléum	116	150930
isolation polystyrène	117	3770
tapis (synthétique)	148	84900
aluminium	227	517700

Fig. 7 : Energie grise des matériaux  
(source : [www.canadianarchitect.com/asf/perspectives\\_sustainability/measures\\_of\\_sustainability/measures\\_of\\_sustainability\\_embodied.htm](http://www.canadianarchitect.com/asf/perspectives_sustainability/measures_of_sustainability/measures_of_sustainability_embodied.htm))  
NB : Les auteurs font remarquer que les valeurs sont basées sur diverses sources internationales et que les valeurs locales peuvent varier.

Le graphique suivant (figure 9), issu des «Grenelles de l'environnement» en France, montre toutefois que l'évaluation de l'énergie grise des matériaux utilisés dans une construction n'est réellement pertinente que dans le cadre d'une réflexion sur la performance globale de la construction (ici une habitation moyenne). Plus un bâtiment sera performant en termes d'économie d'énergie, plus l'énergie grise des matériaux qu'il contient sera significative. En outre, plus la durée de vie de cette construction sera courte, plus l'impact de l'énergie grise des matériaux sera important.

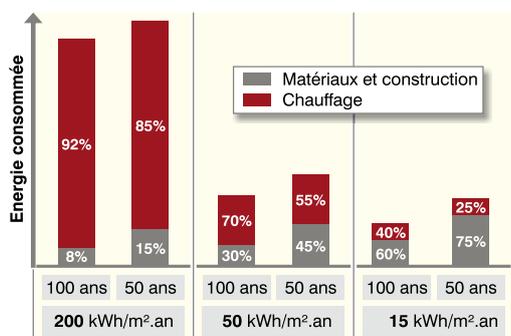


Fig. 9 : Energie grise des matériaux et énergie pour le chauffage d'une habitation moyenne (source: Grenelles de l'environnement)

Trop souvent il y a confusion entre une tonne de ciment et une tonne de béton ! Les proportions de ciment dans un béton classique de structure ne sont en fait que de 15 à 20 % en masse. Remarquons aussi qu'aujourd'hui, grâce aux efforts de l'industrie, 1/3 de l'énergie thermique nécessaire à la fabrication des ciments provient de la combustion de déchets.

Déjà en 1996, la VNC (*Vereniging Nederlandse Cementindustrie*) avait publié dans « *Béton en milieu* » des valeurs permettant d'évaluer l'énergie grise d'un béton (ciment – sable et granulats – coffrage – transport et mise en œuvre – démolition et traitement des déchets).

Ainsi l'énergie grise d'un béton normal non armé in situ pouvait être estimée à approximativement 2,89 GJ/m³, soit 1,31 MJ/kg en considérant une masse volumique de 2200 kg/m³.

Si ce béton est armé, il fallait rajouter approximativement 2,25 GJ/m³, soit un total de 5,14 GJ par m³ (ou 2,14 MJ/kg) de béton (ou 2,14 MJ/kg en considérant une masse volumique de 2400 kg/m³).

A noter que cette valeur correspondait à un béton à base d'un ciment Portland CEM I 42,5 N et que la Belgique consomme globalement plus de ciment de haut fourneau CEM III, dont l'énergie grise est nettement inférieure, comme le montre la figure 10.

Comme le graphique de la figure 8 (page précédente) le montre, lorsque l'on compare les matériaux sur base de l'énergie grise d'une masse donnée, le béton est très bien classé.

Des données plus détaillées et de date plus récente confirment cette conclusion (cfr paragraphe M.3.1).

Il est aussi important de considérer la quantité de matière réellement nécessaire pour atteindre une performance donnée. Les performances mécaniques élevées du béton sont donc un autre avantage quand l'énergie grise est exprimée en terme d'unité fonctionnelle.

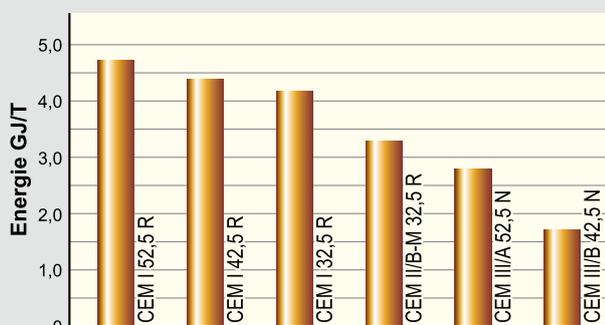


Fig. 10 : Energie grise pour la production des ciments (source: Architecture et Climat, d'après FEBELCEM/ENCI)

## UNITÉ FONCTIONNELLE

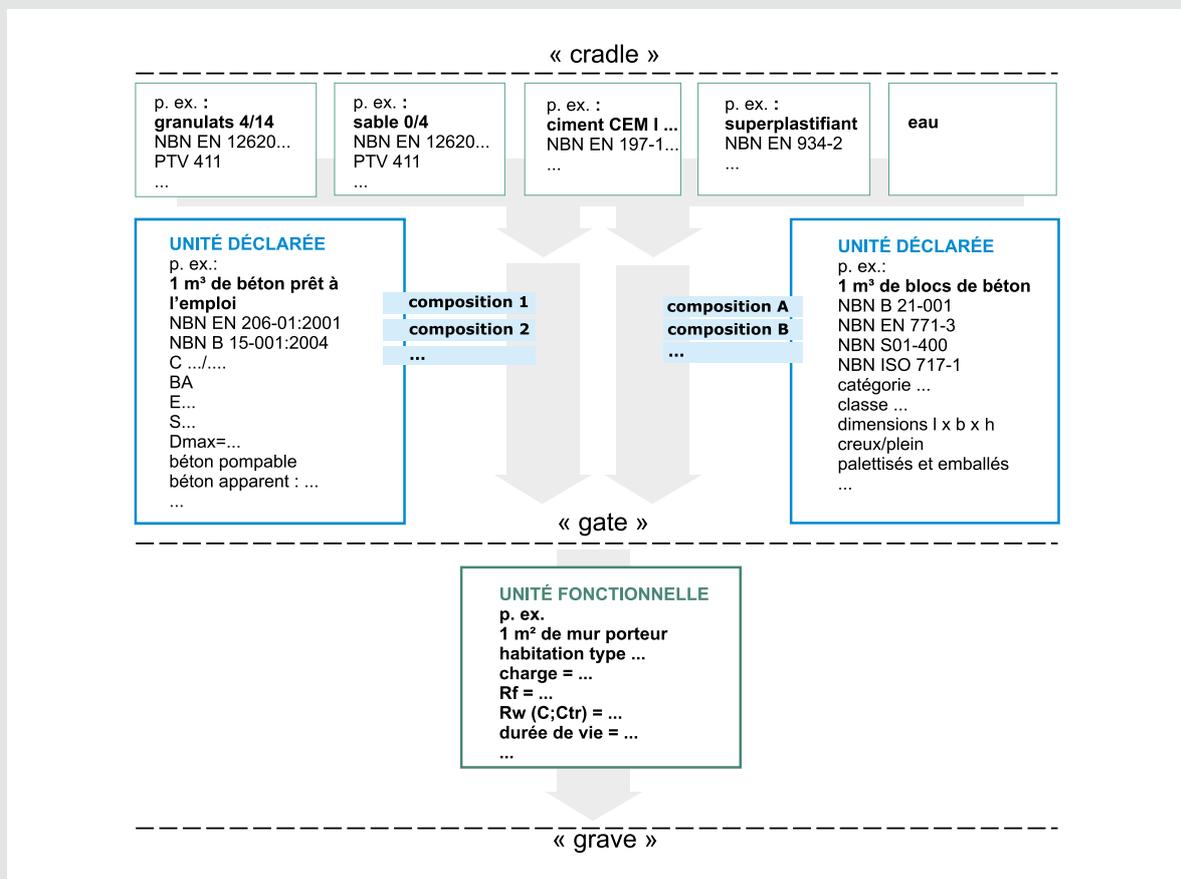
L'unité fonctionnelle d'un produit de construction est la description chiffrée de la performance ou de la fonction du produit à évaluer au cours de son cycle de vie. C'est l'unité de référence pour une « déclaration environnementale » (type III), comme développé au point M.6.5. Cette référence est nécessaire pour comptabiliser les flux de matériaux et d'énergie et l'impact environnemental pour chaque phase de son cycle de vie et permet de comparer entre eux des produits équivalents en termes de performance ou de fonction. L'unité fonctionnelle d'un produit de construction est en principe associée à une durée de vie de référence correspondant à une durée de vie standard dans une situation type.

L'unité déclarée d'un produit est utilisée quand l'analyse ne tient pas compte de la mise en œuvre du produit dans le bâtiment ou quand on analyse une phase spécifique du cycle de vie d'un produit : « *cradle to gate* », « *cradle to grave* », « *cradle to cradle* ». Cette référence s'utilise principalement pour les produits de construction susceptibles d'être utilisés de différentes manières ou qui font partie d'un composant plus important.

Le béton est un matériau que l'on peut considérer comme « générique » tant il répond à des utilisations variées. Une de ses spécificités est qu'il peut être mis en œuvre sur chantier ou être préfabriqué. Les mélanges peuvent être réalisés sur place ou être acheminés à partir d'une centrale à béton. Le terme « béton » couvre donc une gamme étendue de produits. L'organigramme de la figure 12 (ci-contre) schématise son cycle de vie, bien qu'il ne reprenne pas les étapes relatives à la production du ciment proprement dit, ni des autres composants du béton.

La figure 11 montre les nombreuses unités fonctionnelles et déclarées utilisées en pratique dans l'analyse du cycle de vie du béton et de ses composants.

Fig. 11 : L'analyse du cycle de vie implique la description détaillée de l'unité fonctionnelle (par ex. un m<sup>2</sup> de mur porteur répondant à une série d'exigences) et des unités déclarées sous-jacentes (en fonction du mode de construction, par ex. béton coulé en place, maçonnerie en blocs de béton...) (source : FEBELCEM)



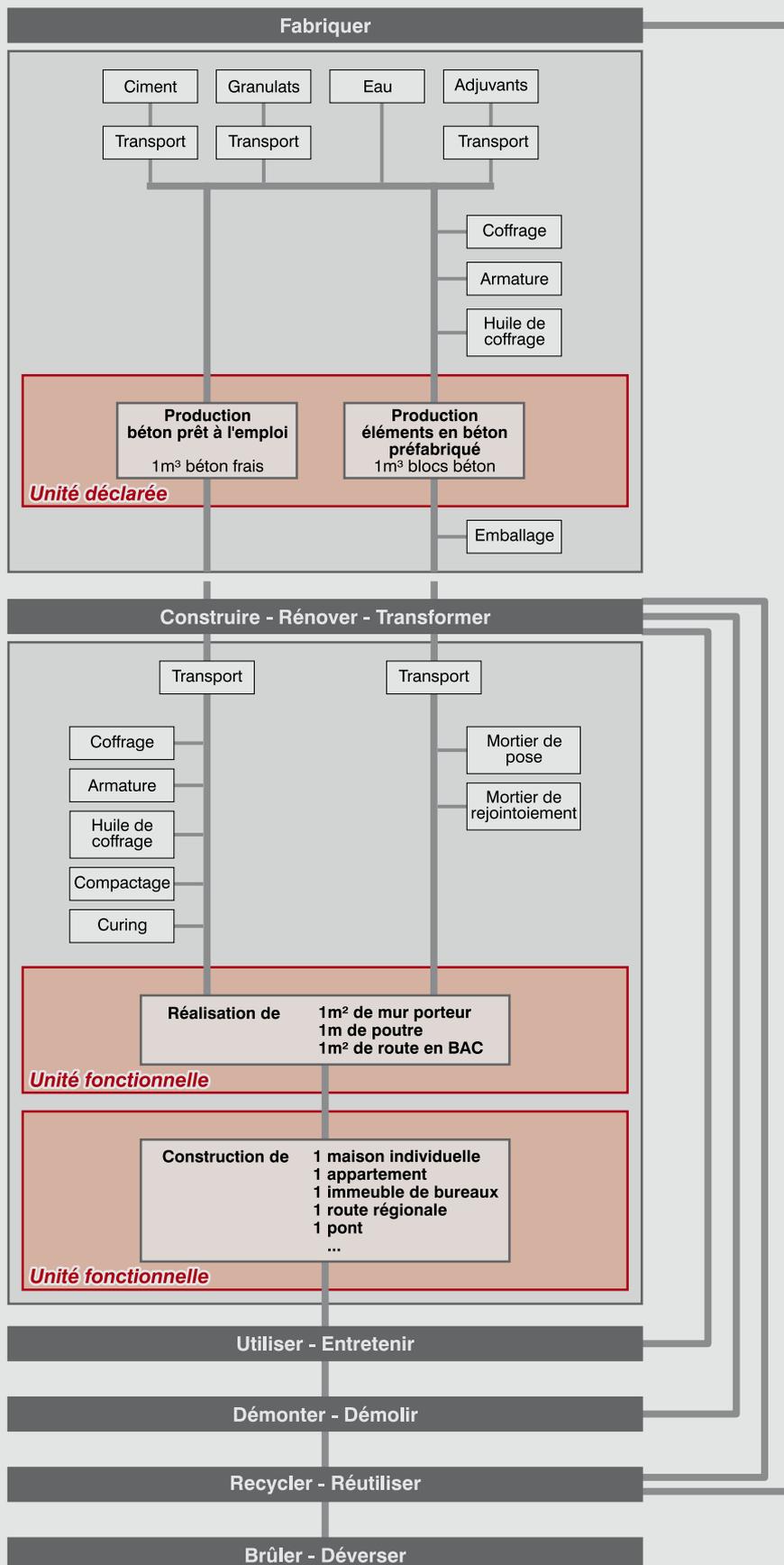


Fig. 12 : Cycle de vie du béton (source : FEBELCEM/ Architecture et Climat)

## ■ M.2.1 Connaître la composition des matériaux

- **15 à 20% de ciment** : Celui-ci contient du clinker qui est composé de 65% de chaux ( $\text{CaCO}_3$ ) ; 20% de silice ( $\text{SiO}_2$ ) ; 10% d'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ; 5% d'oxyde de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Les fours de cimenteries belges sont concentrés à proximité des sites d'extraction (Tournai, Mons, Liège), ce qui limite le transport des matières premières. La distance parcourue en moyenne est de 80 km pour rejoindre la centrale à béton, et de 20 km par camion pour rejoindre le chantier (à partir de la centrale à béton). La « valorisation matière » mise en place dans les cimenteries consiste à introduire d'autres composants, comme le laitier de haut-fourneau (résidu de l'industrie de l'acier), les cendres volantes (résidu des centrales à charbon) et le calcaire (obtenu par concassage et mouture de roches calcaires).

Les ciments sont classés en différents types selon leur composition :

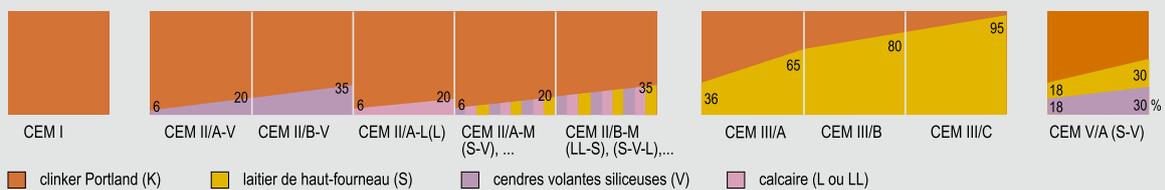


Fig. 13 : Composition des ciments courants belges

- **70 à 80% de sable et granulats** : Ceux-ci peuvent être de type alluvionnaire, sédimentaire, éruptif ou recyclé. Le sol belge est riche en ressources et la distance moyenne parcourue pour rejoindre la centrale à béton est de 80 km (notamment par voie fluviale). En Belgique, le secteur de la construction utilise 9 millions de tonnes de sable provenant de sablières ou extrait des rivières ou de la mer. La fabrication de béton consomme environ 15 millions de tonnes de granulats par an.

- **5 à 10% d'eau** : La production du béton consomme au total à peu près 2 millions de  $\text{m}^3$ /an en Belgique. Elle provient en général d'eau de pluie et rarement du réseau de distribution. L'eau de rinçage des malaxeurs et camions mixers est collectée et recyclée.

- **Maximum quelques pour-cents d'adjuvants** (fluidifiants, entraîneurs d'air, retardateurs, accélérateurs...) ou d'additions (cendres volantes, fumée de silice, fillers...) si nécessaire. L'utilisation d'adjuvants n'a pas cessé d'augmenter au cours des dernières années. En Belgique, on consomme chaque année environ 20.000 tonnes d'adjuvants, dont presque la moitié en superplastifiants. La distance moyenne parcourue est de 250 km.

- **Coffrages** : Ils sont réalisés en bois, en acier, en aluminium ou en matières synthétiques (résine époxy ou polyester renforcé de fibre de verre). Les produits de décoffrage (huiles traditionnelles d'origine minérale, animale ou végétale avec tensioactifs, émulsions d'eau dans l'huile, cires végétales ou synthétiques, acides organiques) permettent de démouler le béton sans abîmer celui-ci. Il n'existe pas de chiffres précis sur les quantités de coffrages et de produits de décoffrage utilisés en Belgique.

- **Eventuellement : armatures, fibres (d'acier ou synthétiques)** : La consommation annuelle d'aciers pour bétons est estimée à 250.000 tonnes. L'utilisation d'acier peut être optimisée, en choisissant du béton précontraint ou à hautes performances, ou par l'application de méthodes de dimensionnement plus précises.

### ■ M.2.3 Evaluer les filières de recyclage des déchets

En terme d'analyse du cycle de vie, on parle d'une analyse « du berceau au berceau » (« *cradle to cradle* » ou « C2C ») quand on considère aussi la valorisation des déchets.

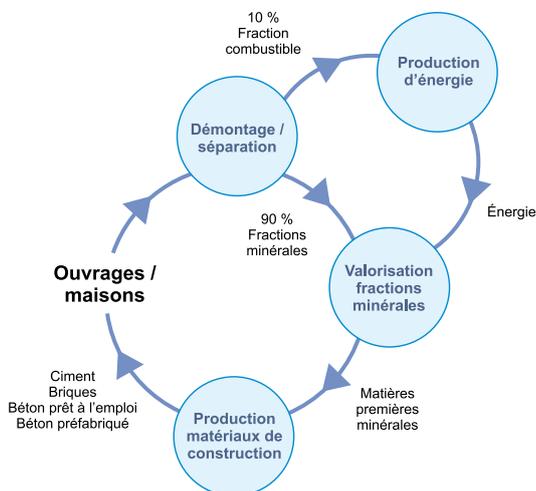


Fig. 14 : Principe de « Kringbouw » (« Closed Cycle Construction » ou « Construction en Cycle Fermé ») (source : [www.kringbouw.nl](http://www.kringbouw.nl))

La production du ciment, du sable et des granulats ne produit que très peu de déchets solides. Ces déchets sont généralement des déchets industriels banals. Il s'agit principalement des emballages : sacs de ciment constitués de 2 couches de papier et d'une couche intermédiaire en polyéthylène haute densité (PEHD), sacs de gravier et de sable, palettes de bois non traité et film en polyéthylène basse densité (PELD).

Les réglementations belge et européenne sont de plus en plus strictes concernant le tri sélectif et la valorisation des déchets. En Belgique, les filières de recyclage doivent être renforcées à tous les niveaux car les déchets de démolition pourraient être utilisés à la place des granulats classiques. Différentes études montrent que les « bétons de recyclage » ont à peu près les mêmes propriétés que les bétons ordinaires, mais ils peuvent avoir plus de retrait, plus de fluage et de plus grandes flèches selon le type et la quantité de granulats recyclés introduits. De plus, ces granulats recyclés posent parfois des problèmes au niveau de la régularité de l'approvisionnement, et au niveau du calibrage des granulats.

### ■ M.3.1 Quantifier les émissions de gaz à effet de serre

Lors des différentes étapes de leur cycle de vie, les matériaux peuvent être la cause d'émissions de CO<sub>2</sub> ou d'autres gaz à effet de serre – GES, de composés organiques volatiles – COV, de gaz acidifiant, d'ozone troposphérique, de particules fines à très fines... Il est donc important de tenter de quantifier celles-ci pour les réduire au maximum.

Si certains chiffres existent pour la production de ciment (voir le dossier de FEBELCEM « *La contribution de l'industrie cimentière à la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>* »), il n'existe pas de chiffres relatifs aux émissions dues à la fabrication du béton en Belgique.

Le tableau suivant (figure 15) présente des valeurs pour différents bétons et selon l'usage auquel ils sont destinés. La comparaison avec d'autres matériaux doit bien sûr tenir compte de la performance obtenue (donc de l'unité fonctionnelle).

		masse volumique [kg/m <sup>3</sup> ]	énergie grise [MJ/kg]	émission de CO <sub>2</sub> [kg CO <sub>2</sub> /kg]
<b>BÉTON</b>	blocs creux	1200	0,91	0,14
	blocs lourd et semi-lourd	2000-2400	0,8	0,13
	charges élevées	2400	1,2	0,15
	dalle de sol / semelle filante	2400	0,8	0,13
	hourdis	1400	0,8	0,13
	béton cellulaire autoclavé	600	4,3	0,48
	béton léger argile expansé	1200	5,2	0,38
	béton maigre	2000	0,4	0,05
<b>MÉTAUX</b>	acier - beaucoup d'alliage	7850	102,4	6,0
	acier - peu d'alliage	7850	32,4	1,8
	acier d'armature (100 % recyclé)	7850	13,3	1,8
	aluminium - tôle	2700	116,1	7,18
	aluminium (100 % recyclé)	2700	19,5	1,08
	cuivre - tôle	890	103,0	5,48
	zinc - tôle	7150	84,5	4,93
	<b>AUTRES MINÉRAUX</b>	brique pleine	800-1000	5,2
brique creuse		650	5,2	0,38
Pierre naturelle européenne/locale		2400-2800	0,3	0,01
verre plat		2500	12,9	0,98
<b>ISOLANTS</b>	cellulose - matelas souples	70	21,2	1,61
	cellulose - flocon	30	4,6	0,23
	laine de roche	60-130	22,7	1,60
	laine de verre	20-110	33,8	1,56
	perlite expansée	135-165	10,4	0,52
	polystyrène expansé (EPS)	15-30	120,4	4,01
	polystyrène extrudé (XPS)	15-20	108,4	3,73
	polyuréthane (PUR)	40	106,5	13,70
	verre cellulaire	120-150	22,9	1,26
<b>BOIS ET DÉRIVÉS</b>	MDF	750 - 800	39,5	-1,27
	OSB	500	45,8	-1,25
	panneaux de particules tendres	180	41,0	-0,09
	bois lamellé collé	500	32,8	-1,26
	bois massif feuillu européen	800	40,3	-1,66
	bois massif résineux européen	600	31,4	-1,63
<b>AUTRES</b>	étanchéité bitumineuse	1100	51,80	1,16
	linoléum	1200	60,80	0,37
	plaque de fibroplâtre	1200	5,28	0,27
	plaque de plâtre cartonnée	900	5,80	0,22
	PVC - étanchéité	1200	22,20	2,19
	PVC - feuille	1500	86,90	3,91
	tapis plein synthétique	300	84,50	4,05
	vinyl	1500	86,90	3,91

(source: Ecosoft-IBO, Autriche, 2009)

Fig.15 : Energie grise et émission de dioxyde de carbone de différents matériaux. Les valeurs se réfèrent à la fabrication. NB : Des différences parfois grandes peuvent être observées entre les bases de données, même si celles-ci sont établies selon les normes ISO sur l'analyse du cycle de vie (voir par ex. [www.bbl.admin.ch/kbob/00493/00495](http://www.bbl.admin.ch/kbob/00493/00495)). Ces écarts peuvent avoir plusieurs raisons :

- calcul de la consommation d'énergie (p.ex. omission de l'énergie renouvelable...)
- composition du produit (p.ex. des matériaux composites...)
- spécifications techniques et performances
- valeurs par défaut des distances de transport
- ...

## ■ M.6.4 Développer de nouveaux matériaux

Parce que les fonctions à remplir et les performances à atteindre évoluent avec le temps et les besoins, il est important de valoriser la recherche, l'optimisation et le développement de produits ou procédés existants ou innovants.

On parle de plus en plus de « béton vert » (ou « *green concrete* ») pour se référer aux bétons produits et utilisés en réduisant au maximum leur impact environnemental, à la production (valorisation énergétique, valorisation matière...), ou en fin de vie (réemploi, recyclage...). Le terme ne doit pas être confondu avec la terminologie utilisée pour décrire un béton en début de prise.

Le matériau béton est en évolution constante, de nouvelles applications ont vu le jour et toute une gamme de matériaux continue à se développer : bétons à (ultra) hautes performances – B(U)HP, bétons auto-nettoyants, bétons auto-plaçants – BAP, bétons isolants, bétons translucides, bétons lumineux, bétons communicants, bétons décoratifs, bétons drainants, bétons à base de granulats recyclés... Ce sont les « bétons du futur ». Le béton peut être conçu de façon à réunir les fonctions les plus diverses en un seul matériau, ce qui lui octroie un réel atout sur le plan de la construction durable.

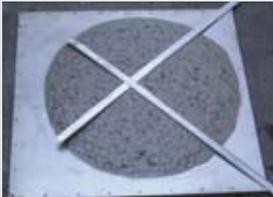
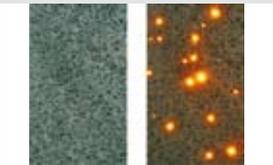
		
<b>BUHP - BÉTON A ULTRA HAUTES PERFORMANCES</b> (Beek Design)	<b>BÉTON DÉPOLLUANT</b>	<b>BÉTON AUTO-PLAÇANT</b>
		
<b>BÉTON ISOLANT / BÉTON MOUSSE</b>	<b>BÉTON TRANSLUCIDE</b> (arch. A. Losonczi, © Litracon)	<b>BÉTON DRAINANT / BÉTON COLLOIDAL</b>
		
<b>BÉTON « LUMINEUX »</b> (design Ph. Courcelles / St. Verburgh)	<b>BÉTON DÉCORATIF</b>	<b>BÉTON AUTO-NETTOYANT</b> (arch. E L)

Fig. 16 : Images « bétons du futur »

## ■ M.6.5 Etablir une déclaration environnementale

Rappelons d'abord que, pour assurer la qualité TECHNIQUE des produits de construction, la marque BENOR a été mise en place. C'est une « marque de qualité » gérée par des instances officielles (voir [www.benoratg.org](http://www.benoratg.org)). Comme pour les labels, les produits doivent répondre à un certain nombre d'exigences techniques définies avec précision pour pouvoir porter la marque. De cette manière, l'architecte, l'auteur de projet, l'entrepreneur et le maître d'ouvrage disposent d'une référence lors de leurs choix.

La norme ISO 14020 définit trois types de marquages et déclarations ENVIRONNEMENTAUX indiquant les aspects environnementaux d'un produit ou d'un service.

Le **type I** (ISO 14024) regroupe les labels, accordés par des instances publiques ou par des organisations privées non commerciales, sur des critères définis par des tiers.

En principe, ces critères portent sur différents aspects environnementaux en tenant compte du cycle de vie complet du produit, mais pas nécessairement basés sur la méthodologie LCA. La figure 17 reprend le logo des principaux labels utilisés en Belgique pour les matériaux de construction.

					
<a href="http://www.ecolabel.be">www.ecolabel.be</a>	<a href="http://www.fsc.org">www.fsc.org</a>	<a href="http://www.pefc.be">www.pefc.be</a>	<a href="http://www.blauer-engel.de">www.blauer-engel.de</a>	<a href="http://www.svanen.nu/Eng">www.svanen.nu/Eng</a>	<a href="http://www.natureplus.org">www.natureplus.org</a>

Fig. 17 : Logo des labels utilisés en Belgique pour les matériaux de construction

Les déclarations environnementales de **type II** (ISO 14021), dites « propres » ou « auto-déclarations », sont émises par le producteur ou le distributeur et ne concernent en général qu'un seul aspect environnemental : compostable, dégradable, projet démontable, longue durée de vie, énergie récupérée, recyclable, taux de recyclage, économe en énergie, en matières premières et en eau, réutilisable, rechargeable, renouvelable, peu générateur de déchets... Cette valeur n'est qu'informative puisqu'elle n'est pas certifiée par des tiers.

Les déclarations environnementales de **type III** (« *Environmental Product Declarations* » ou EPD, cfr ISO 14025) sont des fiches d'information dans lesquelles le producteur ou distributeur présente des valeurs chiffrées de l'impact de son produit sur l'environnement durant son cycle de vie complet. Ces informations reposent sur l'inventaire et l'analyse du cycle de vie (respectivement LCI pour *Life Cycle Inventory* et LCA pour *Life Cycle Analysis*) réalisés selon la série de normes ISO 14040. Les exigences et les directives en vigueur pour les matériaux de construction sont définies dans les règles propres aux catégories de produits (*Product Category Rules* ou PCR) correspondantes. Les PCR comportent aussi des règles pour l'élaboration des scénarios qui déterminent l'impact environnemental des produits tout au long de leur cycle de vie. Ces déclarations environnementales sont parfois complétées d'une mise en garde contre des substances dangereuses ou des renseignements sur les autres composants du produit. La déclaration est vérifiée par un tiers indépendant. La figure 18 reprend le logo d'EPD pour le secteur de la construction mis au point dans divers pays européens: INIES (FR), MRPI (NL), BRE Environmental Profiles (GB) et EPD® (IT-SW).

			
<a href="http://www.inies.fr">www.inies.fr</a>	<a href="http://www.mrpi.nl">www.mrpi.nl</a>	<a href="http://cig.bre.co.uk/envprofiles">cig.bre.co.uk/envprofiles</a>	<a href="http://www.environdec.com">www.environdec.com</a>

Fig. 18 : Logo de quelques exemples de déclarations environnementales pour les matériaux de construction

La comparaison des résultats pour deux produits différents est laissée à la discrétion de l'utilisateur qui doit lui-même tirer ses conclusions sur base des informations fournies. Notons que cette comparaison n'a évidemment de sens que pour un bâtiment ou des composants équivalents en termes de performance.

Etablir une déclaration environnementale donne donc accès à de nombreuses informations utiles, mais il faut se rendre compte de la lourdeur du travail (et donc du coût) que cette analyse implique. De ce fait, on ne dispose, à l'heure actuelle, que d'un petit nombre de valeurs souvent difficiles à comparer entre elles.

De plus, certains aspects restent non-quantifiés (pas d'indicateur), ou non-quantifiables. Les valeurs obtenues sont aussi difficiles à synthétiser en une seule... Cette complexité et le fait que seul l'environnemental est considéré (pas de prise en compte des deux autres piliers du développement durable, le social et l'économique) expliquent les nombreuses discussions actuelles à ce sujet. En règle générale, disposer d'une analyse du cycle de vie ou d'un EPD peut aider le décideur, mais ne le remplace pas. Il semble que les évolutions récentes dans les domaines qui touchent à la construction durable vont globalement dans le sens d'une amélioration dans la qualité de l'étiquetage des produits de construction.

Plusieurs bases de données existent déjà dans différents pays et sont librement consultables sur internet, par exemple :

- <http://www.environdec.com/pageId.asp?id=105&menu=4,14,0>
- <http://ese.cstb.fr/inies/IniesConsultation.aspx>
- <http://www.greenbooklive.com/search/search.jsp?partid=10000>
- <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten>
- <http://www.catalogueconstruction.ch>

Elles contiennent également des données pour des produits à base de béton.

La base de données du *Joint Research Centre* de la Commission européenne est disponible en ligne, à l'adresse :

<http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/index.vm>

CEMBUREAU, l'association européenne du ciment, a fourni le LCI d'un ciment CEM I représentatif pour l'Europe.

En Belgique, des travaux sont en cours pour établir des EPD des ciments belges. Les EPD des bétons à base de ciments belges suivront.

## CONCEVOIR LE PROJET



Fig. 19 : « Contextualiser » la conception (source : Architecture et Climat)

### ■ C.1.1 Minimiser la consommation d'énergie

Le climat belge n'offre pas les conditions climatiques permettant d'obtenir un confort thermique et visuel aux occupants toute l'année. Les principes de l'architecture bioclimatique s'inscrivent parfaitement dans les préoccupations énergétiques et techniques liées à la conception d'une construction durable.

Ces principes suggèrent de concevoir des bâtiments compacts et bien isolés (sans pont thermique), où l'éclairage (naturel et artificiel) et la ventilation (naturelle ou parfois mécanique, niveau d'infiltration) sont bien maîtrisés.

De nombreux dispositifs architecturaux permettent de renforcer les gains gratuits dont peut bénéficier le bâtiment (apports solaires, protection du vent, géothermie...) : ombrage, zone tampon, modulation de façade, puits canadien ou provençal...

<p>CAPTER : valoriser les apports solaires            STOCKER : exploiter l'inertie thermique            CONSERVER : limiter les déperditions thermiques            DISTRIBUER : répartir la chaleur</p>	<p>PROTEGER : ériger des écrans            EVITER : empêcher la chaleur de pénétrer            MINIMISER : limiter les apports internes            DISSIPER : éviter les surchauffes            REFROIDIR : en dernier recours</p>	<p>CAPTER : recueillir la lumière du jour            CONTROLER : ni trop, ni trop peu de lumière            REPARTIR : éviter les contrastes trop importants            FOCALISER : mettre en scène les lieux</p>

Fig. 20 : Stratégie du chaud en période hivernale

Fig. 21 : Stratégie du froid en période estivale

Fig. 22 : Stratégie de l'éclairage naturel

(source : Architecture et Climat)

La notion d'inertie thermique ne va pas à l'encontre des principes de conception de bâtiments passifs ou à hautes performances thermiques. Au contraire, l'inertie thermique, si elle est « accessible » ou « activée », permet de mieux tempérer les effets dus aux variations brusques du climat extérieur, comme les surchauffes en été ou l'effet des nuits froides à la mi-saison. Il faut remarquer que le régime d'occupation doit être pris en compte car il n'est pas le même dans le cas d'habitations que dans le cas de bureaux, d'écoles ou de bâtiments commerciaux.

**Le béton lourd doit être associé à d'autres matériaux qui assurent l'isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment. Certains bétons légers peuvent toutefois être utilisés comme isolants (béton cellulaire et bétons très légers, bétons de bois, bétons de chanvre...). Le béton classique offre des solutions simples et performantes pour les murs et les planchers mitoyens permettant de créer un cadre bâti compact donc limitant les déperditions thermiques.**

## IMMEUBLE DE BUREAUX 'SD WORX' À COURTRAI

(arch. P. Van de Poel/ Stramien)

Le bâtiment de bureau de la *SD Worx* à Courtrai, illustré aux figures 23-26, est un bon exemple de bâtiment qui minimise la consommation de l'énergie et qui valorise l'inertie du béton.

La figure 24 montre que, en hiver, l'air frais utilisé pour la ventilation est préchauffé par son passage dans un puits canadien, puis par un échangeur qui récupère l'air chaud de la zone de circulation à double étage orientée au sud avant d'être acheminé jusqu'aux bureaux proprement dits.

En été par contre, pour éviter les surchauffes, l'air puisé à l'extérieur en journée est rafraîchi par son passage dans le puits canadien avant d'être acheminé jusqu'aux bureaux proprement dits, comme illustré par la figure 25. L'air transite par la zone de circulation, avant d'être extrait dans sa partie supérieure.

La nuit, le bâtiment est rafraîchi par une ventilation transversale. L'air est introduit directement dans les bureaux par les fenêtres (fig. 26), puis extrait à l'opposé du bâtiment, en partie supérieure de la zone de circulation.

Ces configurations de la régulation permettent donc de conserver un bâtiment chaud en hiver, frais en été, tout en minimisant les consommations d'énergie.



Fig. 23 : Vue d'ensemble SD Worx à Courtrai

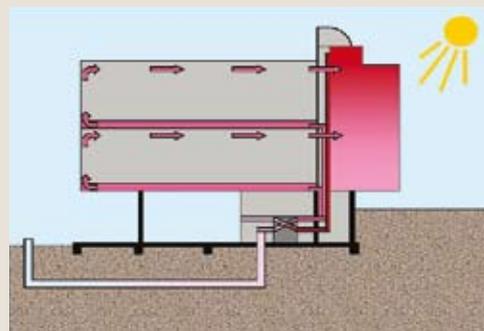


Fig. 24 : Schéma de fonctionnement un jour d'hiver

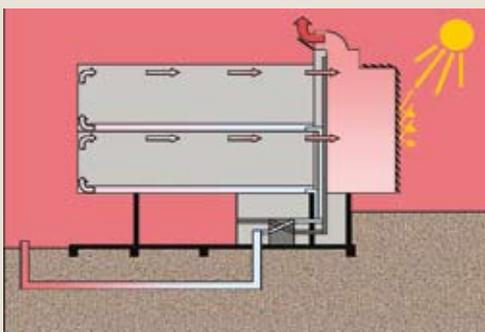


Fig. 25 : Schéma de fonctionnement un jour d'été

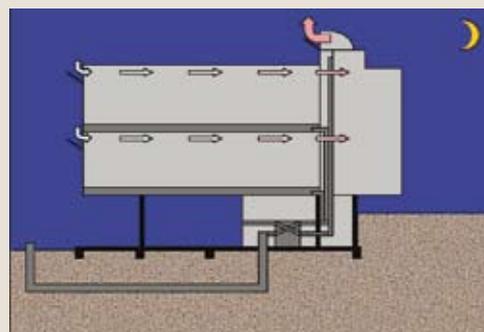


Fig. 26 : Schéma de fonctionnement pendant les nuits fraîches d'été

## LA MAISON PASSIVE

Le terme « maison passive » renvoie à l'utilisation passive d'énergie thermique provenant de l'extérieur (soleil) ou de l'intérieur (appareils électroménagers, habitants), si bien que, pendant la saison de chauffage, il n'est pas ou peu nécessaire de recourir à un chauffage « actif ». Ce concept est né en Suède et en Allemagne et s'est traduit en « standard » qui a entre-temps été repris dans de nombreux pays :

- 1) besoins en chauffage inférieurs à 15 kWh/m<sup>2</sup>.an ;
- 2) ensemble des besoins en énergie (incl. eau chaude, appareils électroménagers) inférieur à 42 kWh/m<sup>2</sup>.an ;
- 3) ensemble des besoins en énergie primaire inférieur à 120 kWh/m<sup>2</sup>.an.

Ces exigences peuvent être atteintes au moyen de techniques de construction très diverses.

Naturellement, il convient de tenir compte des zones climatiques. Les critères et recommandations suivants s'appliquent en Belgique :

- 4) une isolation poussée de l'enveloppe (valeurs U du sol, de la façade et du toit < 0,15 W/m<sup>2</sup>K ; valeurs U des menuiseries extérieures et du vitrage < 0,8 W/m<sup>2</sup>K) ;
- 5) limitation des ponts thermiques : coefficient de transmission thermique linéaire ou valeur  $\psi$  < 0,01 W/mK ;
- 6) limitation des fuites d'air :  $n_{50} \leq 0,6/h$  (« *Blower Door Test* » : par une différence de pression de 50 Pa, le renouvellement d'air par heure doit rester inférieur à 60 % du volume) ;
- 7) surfaces vitrées suffisantes au niveau de la façade sud, valeur G du vitrage > 50 %.

Pour maintenir un climat de vie sain à l'intérieur d'une telle maison super isolée et quasiment étanche, il est nécessaire de prévoir un système de ventilation mécanique qui fonctionne en continu et qui récupère la chaleur (rendement  $\geq 75$  %).

Ces exigences et mesures permettent de garantir le confort thermique pendant la période hivernale, mis à part le fait qu'il est souvent nécessaire de prévoir un humidificateur d'air pour humidifier l'air trop sec.

Entre-temps, l'expérience a montré que le risque de surchauffe pendant les journées chaudes et ensoleillées existe bel et bien. Pour l'éviter, une exigence supplémentaire fut introduite :

- 8) risque de surchauffe  $\leq 5$  %, soit une température de  $\geq 25$  °C pendant 432 heures/an au maximum.

À cet effet, il est essentiel de prévoir des protections solaires et une capacité tampon (masse thermique).

En Belgique, depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2009, une habitation peut obtenir le certificat de maison passive de la Plate-forme Maison Passive, lorsque les conditions **(1)**, **(6)** et **(8)** sont remplies.

(cfr [www.bepassive.be](http://www.bepassive.be) ; [www.maisonpassive.be](http://www.maisonpassive.be)).

N.B. : L'exigence de consommation énergétique maximale (15 kWh/m<sup>2</sup>.an) concernait initialement les appareils de chauffage, mais celle-ci s'applique également au refroidissement. Ceci revêt une grande importance pour les immeubles de bureaux.

Le nombre de maisons passives en Belgique est en croissance rapide. Il est important de rappeler que les efforts sur la performance thermique que demande la réalisation d'un bâtiment passif ne doivent pas occulter les autres aspects de la construction durable.

## EXEMPLE : LA MAISON PASSIVE « EXPÉRIMENTALE » DE TENNEVILLE

La maison passive « expérimentale » de Tenneville est construite en blocs de béton. Elle a été réalisée en grande partie par le maître d'ouvrage. Celui-ci effectue également un monitoring des performances hygrothermiques de la maison. Grâce à une isolation très poussée, à des vitrages ultra performants, à la suppression de tous les ponts thermiques, à l'installation d'une ventilation mécanique contrôlée à échangeur double flux à haut rendement connecté à un puits canadien... les habitants peuvent se passer d'un chauffage central conventionnel.



Fig. 27 : Vue d'ensemble de la maison passive « expérimentale » de Tenneville

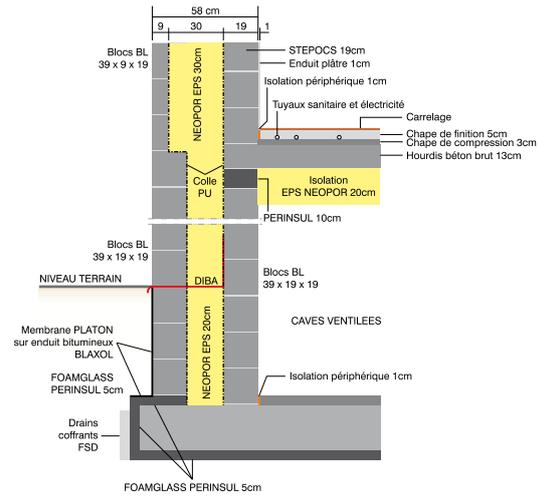


Fig. 28 : Détails de construction d'un mur extérieur  
 U-plancher =  $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$   
 U-mur =  $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$   
 Niveau global d'isolation thermique : K 12  
 Besoins nets en énergie pour le chauffage :  $12,62 \text{ kWh}/\text{m}^2\cdot\text{an}$

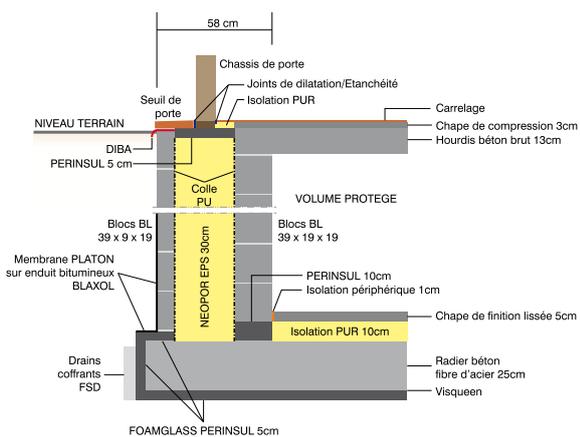


Fig. 29 : Détails de construction des murs de soutènement et du radier

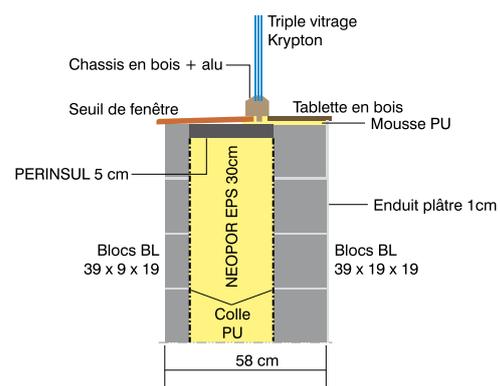


Fig. 30 : Détails de construction des murs d'allège

(source : Architecture et Climat, d'après [www.maison-passive.be](http://www.maison-passive.be))

## ■ C.1.2 Choisir le type d'énergie à utiliser

Choisir un vecteur énergétique pour satisfaire sa demande en énergie (chauffage/refroidissement, électricité, eau chaude sanitaire...) doit se faire en tenant compte de sa disponibilité et du type d'équipements que ce choix induit. Le coût global d'une installation doit être ramené à la quantité d'énergie mise à disposition, exprimée en termes d'énergie primaire. Une analyse de coût doit aussi tenir compte de l'évolution incertaine des prix. L'indépendance énergétique est une sécurité à ce niveau.

L'énergie la moins polluante étant celle que l'on n'utilise pas, l'efficacité énergétique peut alors être considérée comme une source d'énergie à part entière. Valoriser les sources d'énergies renouvelables – SER – amène à considérer la manière de les combiner, car une seule suffit rarement. De plus, la production d'électricité à partir des SER fait apparaître la problématique de son stockage (les besoins suivent rarement le rythme de la production) et pousse à réfléchir à l'adéquation de notre système de distribution (conçu à partir d'une production relativement continue et qui peut s'adapter à la demande). La gestion des pics de consommation est une question d'envergure pour l'avenir. Dans ce cadre, limiter les besoins en refroidissement (trop souvent réalisé à partir d'énergie électrique) est un enjeu important pour les prochaines décennies.

### ENSEMBLE DE LOGEMENTS ET BUREAUX À BRUXELLES

(arch. Synergy International)

La figure 31 illustre une coupe dans l'ensemble du projet. Celui-ci a gagné le prix des projets exemplaires de l'IBGE et prévoit la rénovation d'un bâtiment Rue de la Loi à Bruxelles, ainsi qu'une extension pour 7 logements.

Pour l'extension, l'exigence était de répondre aux critères du standard passif : isolation très performante de l'enveloppe (besoin de chauffage estimé à 12kWh/m<sup>2</sup>.an), système de ventilation double-flux avec récupération de chaleur, protection solaire extérieure... Les vecteurs énergétiques choisis sont : production d'électricité par panneaux photovoltaïques (couvre la consommation des locaux communs), production d'eau chaude sanitaire par panneaux solaires thermiques, appoint de chauffage et d'eau chaude sanitaire par chaudière à condensation centralisée pour l'ensemble des logements.

La rénovation du bâtiment en bureaux permet également d'atteindre une grande efficacité énergétique notamment par une isolation performante de l'enveloppe. Une toiture verte a aussi été installée pour limiter les apports solaires au dernier niveau et diminuer la quantité d'eau envoyée dans le réseau d'égouttage. Du point de vue des vecteurs énergétiques, la production de chaleur est assurée par pompe géothermique. Celle-ci sert d'appoint de froid sur l'entrée d'air frais en cas de forte chaleur. Le reste du temps, un système de free cooling mécanique de jour et de nuit permet d'éviter un système de climatisation complet traditionnel.

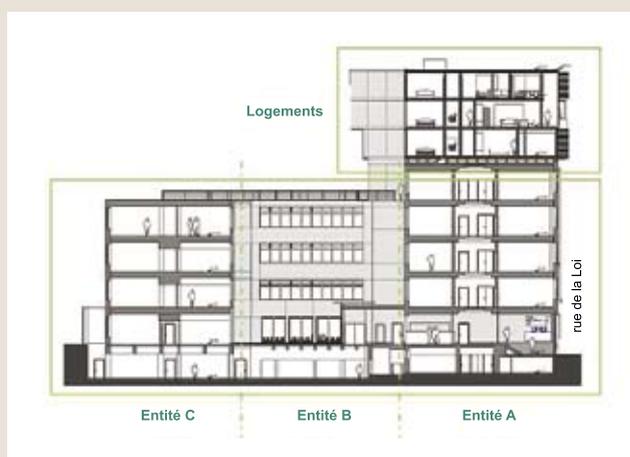


Fig. 31 : coupe dans l'ensemble du projet  
(source: Fiche MATRIciel, arch SYNERGY International)

## IMMEUBLE DE BUREAUX SOLARIS, BRUXELLES

(arch. ASSAR)

En 2009, le bâtiment Solaris s'est vu attribuer le « *Eco-Building Award* » et représente le premier immeuble de ce genre à obtenir un certificat Valideo.

La construction est classique : structure porteuse en béton (colonnes/poutres/planchers), faux planchers et plafonds, façades en verre.

Grâce notamment au vitrage performant, le niveau d'isolation s'est avéré être très bon (K39). Avec les équipements techniques standard, le niveau énergétique du bâtiment se situerait toutefois à E166, alors que la norme bruxelloise n'autorise désormais plus que E90 maximum.

C'est la raison pour laquelle, pendant la phase de conception, les bénéfices en termes de performances énergétiques de diverses solutions envisageables ont été simulés sans toutefois toucher au concept architectural :

- éclairage plus performant, lampes économiques... : E166 → E127
- chaudière à condensation au gaz, redimensionnement des éléments de chauffage, ventilation avec récupération de chaleur : E127 → E102
- panneaux photovoltaïques (PV) en partie placés sur le toit et en partie intégrés dans la façade sud : E102 → E100
- échangeur de chaleur vertical souterrain (système de puisage par sondes géothermiques), à savoir 50 sondes de 100 m de profondeur : E100 → E72

Ce projet se distingue d'abord par les importantes économies d'énergie qui peuvent être réalisées en optant pour un système d'éclairage amélioré. Par ailleurs, l'impact des panneaux PV semble être assez limité.

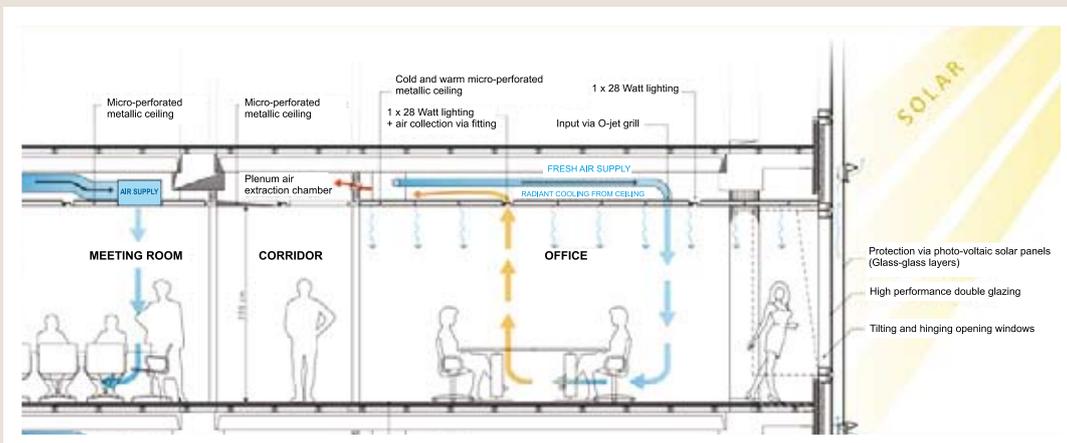
À la suite d'une étude de faisabilité, toutes ces propositions furent effectivement implantées. Le niveau E final se situe aux alentours de E75, et la diminution annuelle des émissions de CO<sub>2</sub> s'élève à environ 120 tonnes.

(source : SECO/BCCA/Valideo)



Fig. 32 : L'immeuble Solaris, Bruxelles (arch. ASSAR)

Fig. 33 : Immeuble Solaris  
Coupe transversale d'un étage type



## IMMEUBLE DE BUREAUX INFRA X, TORHOUT

(arch. Crepain Binst)

« Cet immeuble durable basse énergie résulte d'une concertation étroite, dès la phase de conception, entre les concepteurs en matière d'architecture, de technique et de stabilité. La philosophie de base de chaque concepteur fut de réduire au maximum la demande énergétique globale de l'immeuble et de prévoir une solution durable à la demande énergétique restante au moyen de sources d'énergie renouvelable et de systèmes économes en énergie.



Fig. 34 : L'immeuble de bureaux INFRA X, Torhout (arch. Crepain Binst)

Le chauffage et le refroidissement de base dans les bureaux se font par un système d'activation du noyau du béton. Grâce à ce concept de plancher activé, l'immeuble est chauffé avec un minimum d'énergie à une température très basse et refroidi grâce à un circuit d'eau à température relativement élevée. Le système d'activation du noyau du béton est intégré dans une dalle postcontrainte avec une portée sans colonnes de 16 m. Cette portée a été réalisée au moyen de trois prédalles utilisées comme coffrage perdu. Les registres hydrauliques du système d'activation du noyau du béton sont intégrés dans les prédalles en usine. Des blocs en PS sont posés sur les prédalles afin de diminuer le poids du plancher, les torons de postcontrainte se situent dans les nervures entre les blocs en PS. Au total, une superficie au sol de 2 750 m<sup>2</sup> est activée thermiquement. En mode de chauffage, de l'eau circule à une température de 28/26 °C dans le noyau du béton ; en mode de refroidissement, le régime de température est de 17/20 °C.

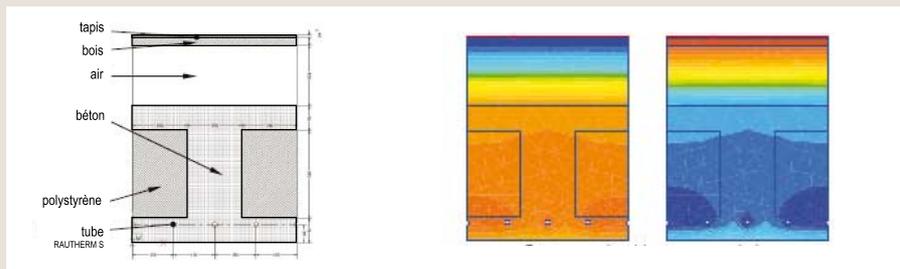


Fig. 35 : Structure du plancher de l'étage et simulation des profils des températures en régime de chauffage (à droite) et de refroidissement (à gauche). (source : REHAU)

L'énergie pour activer le noyau du béton provient de sondes géothermiques couplées à deux pompes à chaleur. Le réservoir d'énergie souterrain est réalisé au moyen de 24 sondes verticales qui ont été forées jusqu'à une profondeur de 130 m. Pendant l'hiver, les pompes à chaleur (2 x 80 kWt) captent l'énergie géothermique et la transforment pour le chauffage du noyau du béton, le chauffage au sol et le postchauffage de l'air de ventilation. Le froid accumulé pendant l'hiver dans le sous-sol par les pompes à chaleur est utilisé pendant l'été pour refroidir l'immeuble. Des simulations dynamiques très précises du bâtiment et du champ de stockage d'énergie souterrain constituent la base pour le dimensionnement du système, afin de parvenir à un bon équilibre sur une base annuelle entre la quantité d'énergie puisée et stockée dans le sol. Une chaudière à condensation au gaz naturel ainsi qu'une machine frigorifique efficace se chargent de garantir l'apport complémentaire pendant les pics de demande de chaud et de froid ainsi que de l'air conditionné au rez-de-chaussée.

Toutes les installations de ventilation aux étages de bureaux sont intégrées dans la double façade « verte ». Un concept de ventilation hybride mixte est utilisé. En effet, pendant 60 % des heures de bureau, le bâtiment peut être ventilé de façon naturelle sans perte de confort. Toutefois, en été et en hiver, la ventilation se fait intégralement de façon mécanique au moyen d'une installation centrale équipée d'une roue hygroscopique. Pendant l'hiver, l'air pulsé est humidifié au moyen d'un générateur de vapeur faible consommation au gaz naturel. Dans les salles de réunion et au réfectoire, la ventilation se fait à la demande.

L'éclairage dans les bureaux au moyen d'armatures TL à faible consommation est équipé d'un système d'atténuation de la lumière du jour intelligent avec un héliomètre central placé sur le toit. Les bureaux individuels ainsi que les salles de réunion sont munis de détecteurs de présence. Des panneaux photovoltaïques ont été placés dans la façade sud, au total 104 panneaux avec une puissance installée de 6 760 Wp et un rendement attendu de 4 500 kWh/an.

Les installations sanitaires sont équipées d'une robinetterie économique en eau et l'eau de pluie est récoltée en vue d'être réutilisée dans le bâtiment. Sur le toit du réfectoire du rez-de-chaussée, une toiture verte semi-intensive composée d'herbes a été aménagée. L'eau de pluie excédentaire est drainée dans le parking vert.

Grâce à l'isolation thermique très poussée des parties opaques, ce bâtiment relativement transparent affiche toutefois un niveau d'isolation de K44. L'activation du noyau du béton et l'utilisation des sondes géothermiques ont permis de réduire la consommation énergétique de 35 % par rapport à un concept standard. La consommation énergétique primaire ainsi que l'émission totale de CO<sub>2</sub> ont également baissé respectivement de 42 % et de 36 %. Par rapport à un immeuble de bureaux classique, ce bâtiment-ci permet de réduire chaque année de 170 tonnes l'émission de CO<sub>2</sub>. Les économies annuelles en énergie s'élèvent à 30 100 €. L'ensemble des mesures énergétiques passives et actives permet d'amener cet immeuble de bureaux basse énergie à un niveau E60. »

(source : Crepain Binst Architecture)

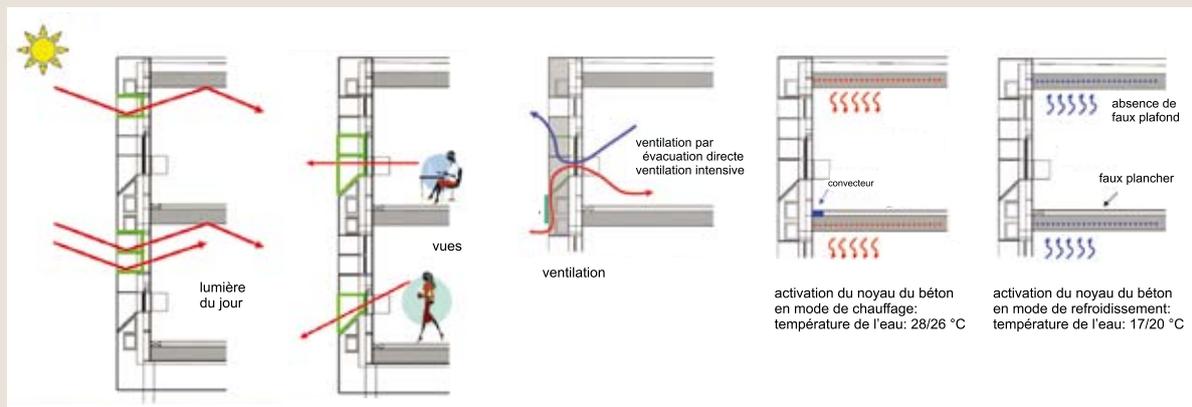


Fig 36 : Façade intelligente et planchers en béton thermiquement activés (source : VK Engineering / Groupement belge du Béton)

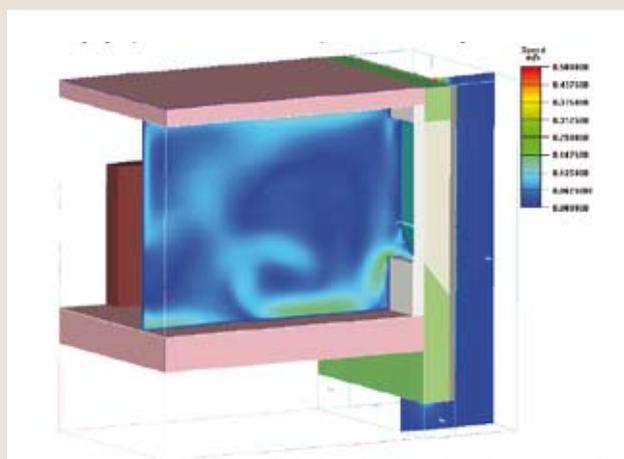


Fig 37 : Simulation de la ventilation naturelle des bureaux (source : VK Engineering / Groupement belge du Béton)

### ■ C.1.3 Garantir le confort thermique et visuel

Le bâtiment doit offrir un confort thermique et visuel à ses occupants, c'est au centre des principes de l'architecture bioclimatique. La température de confort s'obtient par la moyenne de la température de l'air et de celle des parois. Il est donc important d'éviter les parois froides, inconfortables.

À l'extérieur, il est aussi important de prévoir des zones ensoleillées (protégées du vent) pour les périodes hivernales et la mi-saison, et des zones d'ombre en plein été. Le confort visuel dépend de la quantité de lumière et de la qualité des vues offertes aux occupants. Il est aussi important de considérer la qualité de la vue offerte au voisinage et surtout l'ombre qu'on pourrait lui porter.



Fig. 38 : Confort thermique et visuel du béton (arch. L. Dejaeghere, photo A.Nullens)

La composition du béton peut être adaptée, ou le béton peut être associé à d'autres matériaux, pour éviter l'effet de parois froides. Il offre alors une grande liberté dans la conception des façades (distribution des ouvertures, possibilité de grandes portées) et donne de multiples solutions au concepteur pour gérer les vis-à-vis et les abords. L'activation de la masse thermique du béton permet de contribuer au chauffage et au refroidissement du bâtiment par rayonnement. Ce rayonnement n'implique pas de courants d'air et renforce la sensation de confort thermique.

### ■ C.2.1 Limiter la consommation d'espace

Il s'agit d'optimiser l'usage du sol dans son paysage (échelle du quartier, de la ville), la compacité du bâtiment (typologies et implantation), l'espace utile à l'intérieur d'un immeuble.

Le béton permet de mettre en valeur les terrains « difficiles » (fondations, soutènement, talus...). La souplesse architecturale offerte par la technologie du béton (coulabilité, préfabrication, standardisation), combinée à sa grande résistance mécanique, permet d'optimiser le rapport entre surface habitable et emprise au sol (murs porteurs fins, construction en hauteur, construction de caves et de sous-sols...). En outre, l'utilisation des bétons à haute résistance permet d'étendre considérablement l'espace utile (réduction du volume occupé par les colonnes et planchers).



photo A. Nullens

Fig. 39 : Caves et vides sanitaires (arch. Walter Wuyts)



Fig. 40 : Habiter près du centre ville et en tout confort : espace, vue, lumière, acoustique... (arch. BOB361)

### ■ C.3.1 Éviter les infiltrations d'air non maîtrisées

Les infiltrations d'air peuvent être évitées par une mise en œuvre de qualité. Ils produisent des effets équivalents aux ponts thermiques : des pertes de chaleur supplémentaires, des risques de condensation et/ou de moisissures et un sentiment d'inconfort.

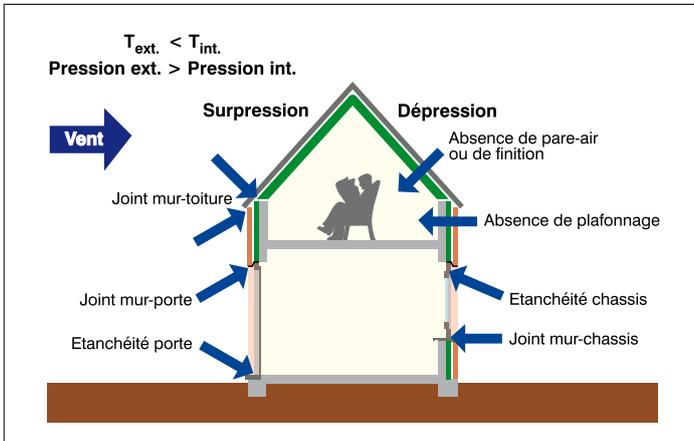


Fig. 41 : Infiltrations d'air usuelles (source: Architecture et Climat)

**Le béton est étanche à l'air, seuls les joints doivent être vérifiés.**

### ■ C.3.2 Assurer la qualité de l'air intérieur

Pour ce faire, il faut d'abord éviter ou limiter la présence de polluants dans l'ambiance intérieure, tels que les composés organiques volatils – COV (colles, peintures...), les matières particulaires (fibres, poussières...), les métaux lourds (plomb, cadmium) et le radon. Ils ont parfois un impact plus important sur la santé quand ils sont combinés. Il faut ensuite s'assurer qu'il n'y aura pas de sources de nuisances olfactives (odeurs qui provoquent une gêne). Enfin, le niveau de renouvellement de l'air intérieur doit suivre les prescriptions en vigueur et être adapté selon le type de local. La limite inférieure est liée à la santé des occupants (ventilation hygiénique suffisante). La limite supérieure est, quant à elle, liée aux aspects thermiques et au confort (vitesse de l'air). Quatre principes de ventilation sont décrits dans la norme belge NBN 50-001 : les types A, B, C et D sont repris sur la figure 42.

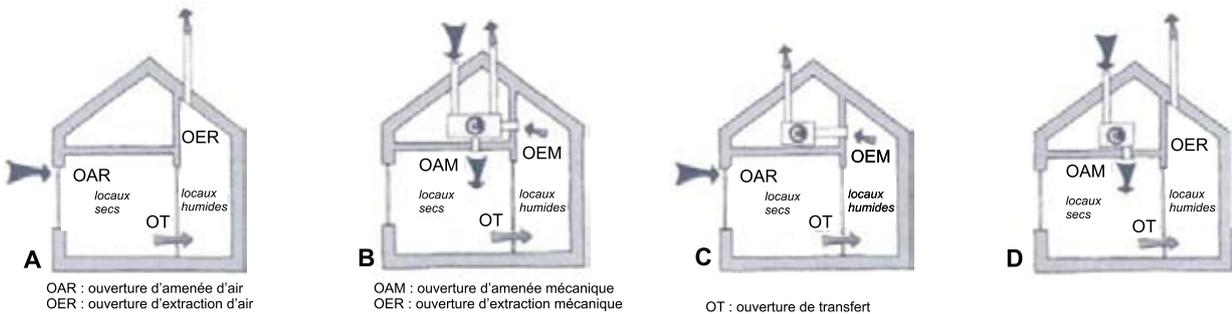


Fig. 42 : Les quatre principes de ventilation (source: Norme belge NBN 50-001)

**Les quantités de substances polluantes que le béton libère dans l'air et en milieu aqueux sont infinitésimales et largement inférieures aux normes existantes. Le matériau ne provoque pas d'odeur désagréable et peut protéger contre le radon provenant du sous-sol.**

### ■ C.3.3 Assurer le confort acoustique

Il s'agit de faire en sorte de bloquer au mieux les bruits aériens entre l'intérieur et l'extérieur et entre les locaux, d'éviter la transmission des bruits d'impact et de limiter la réverbération au sein des locaux. De nombreuses solutions existent pour répondre de manière appropriée et assurer le confort acoustique.



Fig. 43 : Masse comme isolation contre les bruits aériens (arch. A. Vande Kerckhove)



Fig. 44 : Texture rugueuse/caverneuse pour limiter le temps de réverbération (arch. M. Schepens)

**La masse qu'apporte le béton est un excellent frein aux bruits aériens. Toutefois les surfaces lisses peuvent engendrer des réverbérations importantes (atténuées par le mobilier et les surfaces souples, caverneuses ou courbes).**

### ■ C.4.1 Valoriser l'eau de pluie

Récupérer l'eau de pluie permet de réduire sensiblement les consommations. L'eau de pluie ainsi récupérée peut être utilisée dans les machines à laver et les sanitaires, ce qui prolonge la longévité de ces appareils car cette eau ne contient pas de calcaire. Elle peut aussi être utilisée pour le nettoyage ou pour arroser le jardin.

**Le béton est particulièrement adapté pour le stockage de l'eau de pluie, car la chaux et la magnésie qu'il contient neutralisent son acidité naturelle. Il convient donc parfaitement pour réaliser les châteaux d'eau et les citernes d'eau de pluie.**

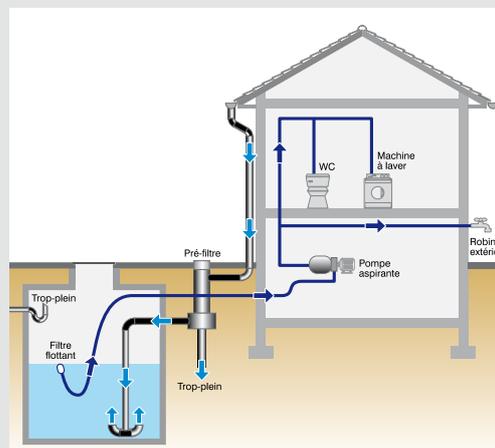


Fig. 45 : Valoriser l'eau de pluie (source: Architecture et Climat)

## ■ C.4.2 Traiter les eaux usées

Les eaux utilisées dans le bâtiment doivent être traitées de façon appropriée selon leur provenance. En général, les eaux de cuisine passeront par un dégraisseur avant de rejoindre une fosse septique où les eaux grises et les eaux fosses se rejoignent pour être préfiltrées. Les eaux sont ensuite acheminées vers un système d'épuration collectif ou individuel, selon la localisation du bâtiment. De nombreuses solutions existent pour la filtration finale : micro-station (figure 46), filtre à roseau, lagunage (figure 47)... Il est important de limiter les besoins en entretiens et de susciter la réduction des rejets en détergents, solvants ou savons non (ou peu) biodégradables.

**Le béton est particulièrement adapté pour les éléments de traitements des eaux usées : centrales d'épuration, fosses septiques, fondations ou soutènement...**

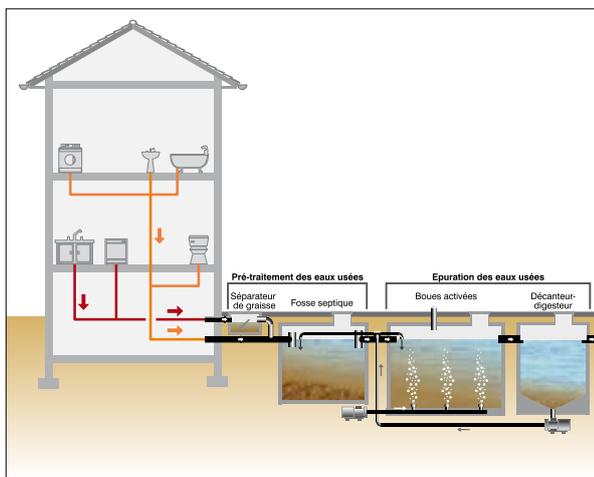


Fig. 46 : Traiter les eaux usées par boues activées  
(source: Architecture et Climat)

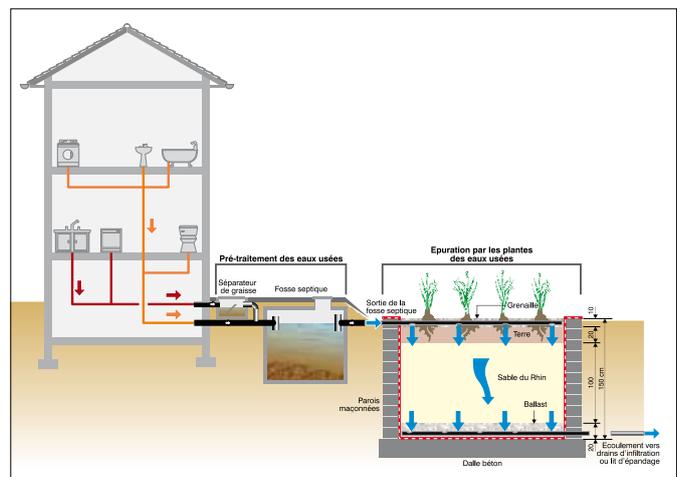


Fig. 47 : Traiter les eaux usées par les plantes  
(source: Architecture et Climat)

## ■ C.4.3 Définir des zones de sols perméables

Ce type de sols permet d'alimenter la nappe phréatique. Les quantités d'eau à évacuer sont moindres, et on évite ainsi les risques de saturation du réseau d'évacuation et des bassins d'orage.

**Des éléments en béton préfabriqué ont été conçus à cette fin, soit grâce à un ensemble d'alvéoles à travers lesquelles l'eau percole et la végétation peut croître, tout en offrant au sol une portance suffisante, soit par une structure poreuse qui garantit la perméabilité du dallage.**



Fig. 48 : Définir des zones de sols perméables  
(source: arch. N. Heysse, photo A. Nullens)



Fig. 49 : Dalles gazon et pavages drainants

## ■ C.5.2 Définir des toitures végétales et des zones de sols artificiels

Les toits plats et à très faible inclinaison ainsi que les zones de sols artificiels peuvent être recouvertes par une végétation intensive ou extensive selon l'épaisseur donnée au substrat et aux essences choisies. On renvoie à la NIT n° 229 du CSTC « Les toitures vertes ». Rappelons que, plus la surface de sol est perméable, mieux la quantité d'eau à évacuer est répartie dans le temps (en évitant ainsi les risques de saturation du réseau d'évacuation), mais aussi dans l'espace (la surcharge devant être considérée lors des calculs de stabilité). Les toitures végétales donnent à la faune et à la flore des espaces qui renforcent le maillage écologique.



Fig. 50 : Vue d'une toiture extensive  
(source: Floradak)

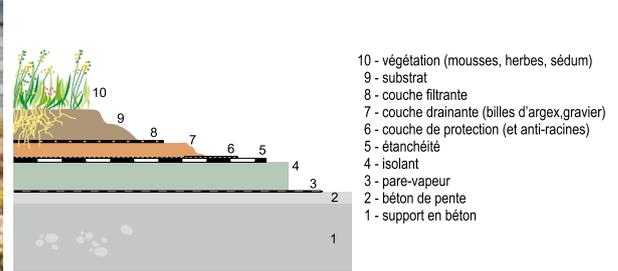


Fig. 51 : Coupe dans une toiture extensive  
(source : infobeton.be)

## ■ C.6.1 S'assurer de l'adéquation dans le temps

Les besoins de chacun sont différents et ils évoluent au cours du temps. La composition de la cellule familiale, la mobilité des occupants ou même l'activité peuvent se modifier (vieillesse, grossesses, accident ou handicap). Il faut donc s'assurer de l'adaptabilité, de la flexibilité en anticipant des changements. Inversement, dans le cas d'une rénovation d'un bâtiment avec une valeur architecturale certaine, le concepteur devra s'assurer que son projet respecte ce témoignage culturel. Dans la Charte de Venise, la possibilité de retrouver un jour l'état initial d'un bâtiment après une intervention est érigée en principe pour la restauration du patrimoine. Ce principe doit-il être adapté pour guider les travaux de rénovation ?

Fig. 52 : Ancienne imprimerie réaménagée en habitation. Récupération de la structure en béton qui rappelle la fonction précédente du bâtiment. Le caractère industriel est accentué par le lissé. Le bâtiment est isolé correctement et équipé d'un système de ventilation double flux. Niveau énergétique: E70.  
(source: Ma Maison Mon Architecte – Ed. 2009, arch. ARTeCUBE, photo André Nullens)



## REALISER LES TRAVAUX



Fig. 53 : « Contextualiser » la mise en œuvre du chantier (source : Architecture et Climat)

### ■ T.1.1 Minimiser la consommation d'énergie

Les choix déterminants pour optimiser la mise en œuvre sont souvent faits en amont, lors de la phase de conception. Il est difficile, en pratique, d'évaluer précisément la consommation d'énergie approvisionnée tout au long du chantier. Ici encore, la sensibilisation adéquate des intervenants aura aussi un impact positif sur les comportements.

**Coulé en place ou sous forme d'éléments préfabriqués, le béton demande des équipements performants, utilisés rationnellement.**



Fig.54-55 : Pose d'élément préfabriqué et coulage de béton prêt à l'emploi (arch. WIT / Bogdan & Van Broeck / LAVA, photos André Nullens)

### ■ T.2.1 Maîtriser la production de déchets

La réduction de la quantité de déchets et l'organisation du tri sélectif systématique des déchets sur le chantier font l'objet de réglementations toujours plus sévères. Ces initiatives sont liées à l'implantation de filières de recyclage ou de reprise qui sont amenées à mettre en place une bonne coordination dimensionnelle, des systèmes de modules, des dimensions standards...



Fig. 56 : Déchet de chantier  
(source: Architecture et Climat)



Fig. 57 : Tri des déchets sur chantier propre  
(arch. WIT / Bogdan & Van Broeck / LAVA, photo André Nullens)

**Bien que cela se passe encore trop peu en Belgique, les débris de béton peuvent être concassés et réutilisés comme granulats.  
Voir également paragraphe M.2.3.**

## ■ T.2.2 Maîtriser la consommation en matériaux et le transport induit

Les matériaux choisis doivent être disponibles en quantité suffisante au moment du chantier. Il faut maîtriser la consommation en matériau, l'approvisionnement du chantier et la compatibilité entre matériaux et entre techniques constructives. Le volume de transport induit par l'acheminement des matériaux, l'installation du chantier et les déplacements de la main d'œuvre doit être évalué. La préfabrication peut permettre d'optimiser ces aspects.

**Les composants du béton et les matériaux qui lui sont connexes (armature, coffrage, prédalle, précadre...) sont largement disponibles pour être préparés et coulés en place. La préparation de béton prêt à l'emploi ou d'éléments préfabriqués permettent d'optimiser les choix du projet selon ses exigences (contraintes particulières, transport, accessibilité, performances).**



Fig. 58 : Pompage du béton frais, facilitant sa mise en oeuvre sur des chantiers vastes et/ou difficilement accessibles

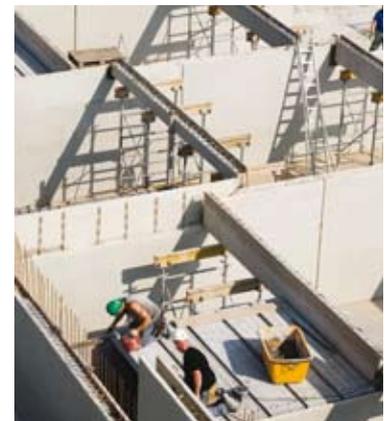


Fig. 59 : Un large éventail de produits en béton préfabriqué est disponible sur le marché

(arch. WIT / Bogdan & Van Broeck / LAVA, photos André Nullens)

## ESPACE DE VENTE POUR LES COMPTOIRS « CAMÉLÉON »

(arch. AWAA for CW Architects)

Le bâtiment se situe à Bruxelles et représente 13000 m<sup>2</sup> bâtis, hors parking. Il a été mis en service en avril 2009, et est sans doute actuellement un des plus complets au niveau de la démarche « construction durable ». Le programme final reprend un espace de vente (8000 m<sup>2</sup>), des bureaux, une cafétéria et une crèche. Les architectes AWAA for CW Architects et AAVO, ont été épaulés par les bureaux d'étude Boucherie et MATRIciel.



Fig. 60 : Vue d'ensemble du bâtiment  
(source: AWAA for CW Architects)

	Masse surfacique [kg/m <sup>2</sup> ]	Energie grise [MJ/m <sup>2</sup> ]	Gaz à effet de serre [kg/m <sup>2</sup> ]	Gaz acidifiants [kg/m <sup>2</sup> ]	Recyclage - Réemploi [%]	Décharge - Incinération [%]
<b>Complexes types</b>						
<b>Type 1</b> Béton - Polyuréthane - Béton	410,40	965,40	73,68	0,36	99,42	0,58
<b>Type 2</b> Béton - Isolant verre - Acier	378,00	1677,00	128,01	0,60	99,21	0,79
<b>Type 3</b> Acier - Isolant roche - Acier	66,00	3702,00	253,20	1,29	90,91	9,09
<b>Type 4</b> Bois - Isolant laine bois - Bois	87,21	1059,29	-207,33	0,67	62,28	37,73

Fig. 61 : Synthèse de la comparaison des éléments de façades (source MATRIciel)

Le bâtiment est très bien isolé (K24), il est basé sur un principe de ventilation naturelle, diurne et nocturne. Les salles de vente ne sont pas climatisées au sens classique, mais sont rafraîchies naturellement au moyen de fenêtres dont l'ouverture est gérée automatiquement en fonction des climats intérieur (température et concentration en CO<sub>2</sub>) et extérieur, et de la température de la structure en béton. L'air transite alors au travers du bâtiment, des façades vers l'atrium et sa toiture.

L'atrium central apporte également de la lumière naturelle au centre de l'espace de vente, et l'éclairage artificiel, de faible puissance, est géré en fonction de cet apport de lumière gratuit.

Grâce à la diminution des charges internes par le choix d'équipements efficaces, aux protections solaires, et à l'inertie thermique du bâtiment dont les dalles de sol et de plafond sont en béton apparent, ce système assure un bon confort tout au long de l'année. En période de canicule, un refroidissement mécanique ponctuel de l'air neuf permet d'éviter des surchauffes trop importantes.

Des panneaux solaires thermiques assurent un préchauffage de l'eau chaude sanitaire de la cafétéria et de la crèche. Des panneaux photovoltaïques en toiture et en pergola produisent une partie de l'électricité consommée par le bâtiment et une chaufferie bois assurera la majorité de la production de chaleur.

L'ensemble de ces mesures énergétiques devrait engendrer une économie de l'ordre de 7.250 tonnes de CO<sub>2</sub> sur 30 ans par rapport à une réalisation moderne traditionnelle.

Une comparaison fouillée de quatre alternatives de matériaux pour les façades a été effectuée. Les principaux résultats sont présentés sur le tableau ci-dessus (figure 60). Le choix s'est finalement porté sur les éléments composés de panneaux préfabriqués : béton / PUR / béton (Type 1). Ceux-ci sont recyclables à 98% : le béton concassé peut servir de fond de coffre ou être utilisé pour la réalisation de nouveaux bétons, les armatures peuvent également être recyclées. La préfabrication offre l'avantage de diminuer la durée du chantier et donc les nuisances dans le quartier, ainsi qu'une diminution et une meilleure gestion des déchets de construction, et un plus grand confort de travail pour les ouvriers. Certaines parties de façade ont été réalisées selon le type 4 : le bardage en bois provient de bois local, certifié par un éco-label, et pour lequel le remplacement des arbres utilisés est assuré par contrat.

## EXTENSION DU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ GESTIONNAIRE DU PORT DE GAND

(evr-Architecten)

Cette mission concernait la rénovation d'un immeuble de bureaux existant et la construction d'une extension. Un audit énergétique a persuadé le maître d'ouvrage d'opter pour une construction neuve qui répond au « standard passif ». En 2005, ce projet s'est vu attribuer le prix de la « Meilleure Construction utilitaire » dans le cadre du concours Eco-Domus.

Le bureau « evr-architecten » est activement impliqué dans le développement des instruments visant à rendre mesurable le niveau de durabilité des immeubles et de permettre ainsi à tous les acteurs concernés – donneurs d'ordre, concepteurs, exécutants – de mieux comprendre les différents aspects de la durabilité. A cet effet, le système américain « LEED », entre autres, fait office d'exemple.

« evr-architecten » traduit les dimensions sociales, économiques et écologiques de la durabilité en une dizaine de priorités. L'ordre dans lequel sont définis ces critères, qui ont également été utilisés pour l'immeuble portuaire, revêt une certaine importance :

### Critères architecturaux du projet (concept) :

1. choix judicieux du terrain à bâtir
2. contexte, orientation, microclimat
3. compartimentage, répartition en zones, compacité, limitation du nombre de m<sup>2</sup>
4. fonctionnel, flexible, adaptable, possibilités d'élargissement et de concentration

### Critères du projet en matière de techniques de la construction (« smart building ») :

5. grande isolation thermique, étanchéité totale à l'air et au vent
6. protections solaires + refroidissement
7. matériaux durables présentant une charge minimale pour l'environnement

### Critères du projet en matière de techniques spéciales (équipements) :

8. ventilation mécanique efficace
9. chauffage et production d'eau chaude efficaces
10. gestion rationnelle de l'eau et de l'électricité

La performance énergétique de l'ensemble (immeuble rénové + nouvelle construction) est remarquable.

Pour la période juin 2005 – juin 2006, les résultats suivants ont été enregistrés :

- malgré un doublement de la surface, la consommation énergétique pour le chauffage a baissé de 9 % ;
- la consommation de gaz naturel dans la partie nouvellement construite (1 820 m<sup>2</sup>) s'élève seulement à 46 % de la consommation de l'immeuble rénové (1 450 m<sup>2</sup>) ;
- après la rénovation et la nouvelle construction, la consommation électrique n'a augmenté que de 15 %.

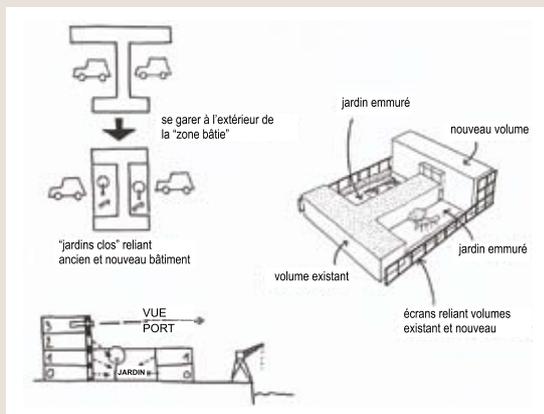


Fig. 62 : Siège du 'Havenbedrijf Gent' (société gestionnaire du port de Gand) - Choix conceptuels (source : evr-architecten)



Fig. 63 : Siège du 'Havenbedrijf Gent' – Vue d'ensemble

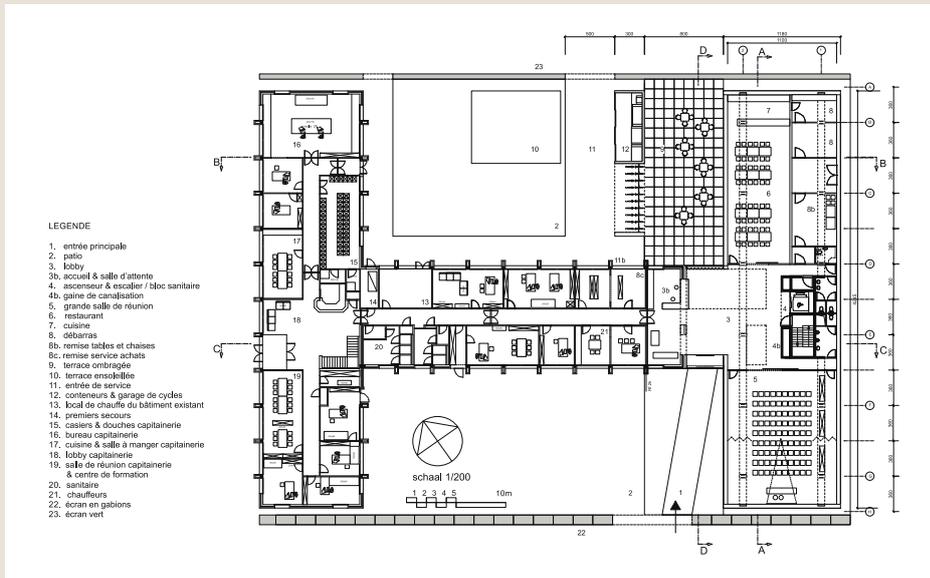


Fig. 64 : Siège du 'Havenbedrijf Gent' - Plan du rez-de-chaussée (à gauche, le bâtiment existant ; à droite, l'extension)

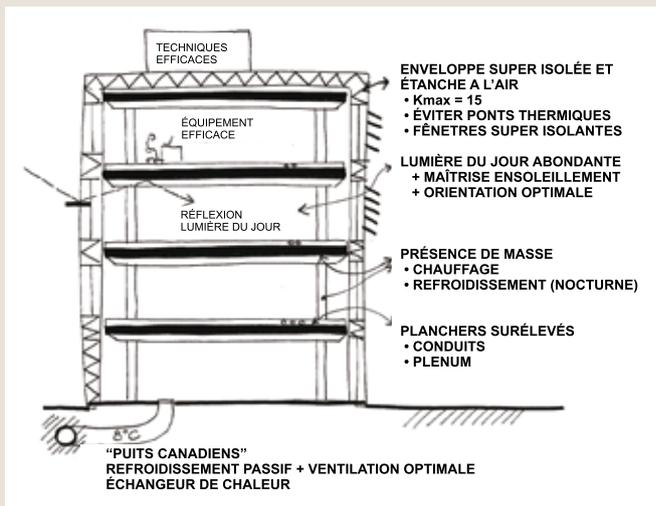


Fig. 65 : Siège du 'Havenbedrijf Gent' – Choix techniques. Notez l'intérêt accordé à la masse et l'inertie thermique du béton pour réguler le climat intérieur tout en économisant de l'énergie.



Fig. 66-67 : Siège du 'Havenbedrijf Gent' – Vues du chantier

# COMMUNIQUER LA DURABILITÉ DES BÂTIMENTS

## Evaluation de la performance énergétique

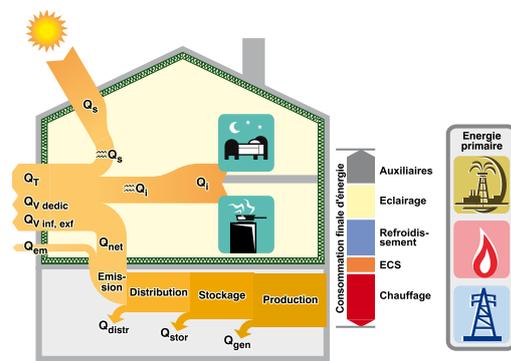


Fig. 68 : Schéma de principe du calcul de la PEB (source: Architecture et Climat)

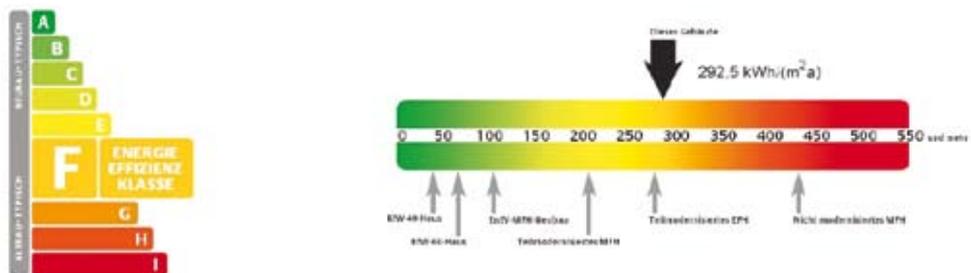
L'évaluation de la performance énergétique globale des bâtiments fait l'objet d'une nouvelle réglementation (PEB) qui est déjà d'application en Flandre depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2006 et à Bruxelles depuis le 1<sup>er</sup> septembre 2009, et qui entre en application en Wallonie en mai 2010. Celle-ci a pour objet de transcrire la directive européenne 2002/91/CE en élaborant une méthode d'évaluation qui tient compte de l'ensemble des gains et pertes de chaleur du bâtiment, ainsi que du rendement énergétique des différents équipements que contient celui-ci. La consommation du

bâtiment est exprimée en termes d'énergie primaire et cette valeur est comparée à la consommation d'un bâtiment référent pour attribuer au bâtiment une valeur unique adimensionnelle, appelée « niveau E ».

## Certification énergétique

Que ce soit en Flandre – <http://www.energiesparen.be> –, ou en Wallonie et à Bruxelles avec la Procédure d'Avis énergétique – PAE (<http://energie.wallonie.be/fr/audit-energetique.html?IDC=6048>) –, la certification énergétique des bâtiments se met en place et devra s'étendre, à terme, à l'ensemble du bâti existant de notre territoire sur base d'audits énergétiques. Il faudra donc produire ce certificat, à chaque vente ou location de bâtiments. L'ensemble des bâtiments analysés sera repris systématiquement dans une base de données qui servira à évaluer l'efficacité des mesures et l'évolution de l'état du bâti existant.

Fig.69 : Modes d'affichages éventuels d'un certificat énergétique (source: "Energy Certificate for Buildings: Field Test Evaluation" (DE), 2005)



## Méthodes d'évaluation de la durabilité

En 2004, la Commission européenne a entamé l'élaboration de directives spécifiques pour permettre le développement d'EPD pour produits de construction comparables à l'échelle européenne. Le CEN TC 350 « Sustainability of Construction Works » a été créé dans la foulée, en 2005. Au départ, la réflexion portait principalement sur les informations environnementales du produit, mais celles-ci devaient en fait constituer la base permettant une évaluation au niveau du bâtiment. De plus, la portée des activités du CEN TC 350 s'étend progressivement à la « durabilité » en général, en rajoutant donc les notions d' « économique » et de « social » à celle de « performances environnementales ».

Les travaux du CEN TC 350 – qui en Belgique aboutiront à la norme « NBN E350 - Durabilité des ouvrages de construction » – sont toujours en cours. Ils sont structurés en cinq groupes de travail :

WG1 : *Environmental performance of buildings* ;  
WG2 : *Building Life Cycle Description* ;  
WG3 : *Products Level* ;  
WG4 : *Economic performance assessment of buildings* ;  
WG5 : *Social performance assessment of building*.

Comme pour les EPD, dans le cadre de l'évaluation de la performance d'ensemble des bâtiments, la description des scénarios et la précision des données techniques relatives aux produits de construction (comme la durée de vie de référence, la durée avant remplacement, le taux de matériaux recyclés...) sont dès lors essentielles.

Un des principaux défis auquel le CEN sera confronté sera vraisemblablement l'harmonisation des EPD au niveau européen. En effet, les différents scénarios reposent sur les traditions nationales en matière de construction et complique donc la comparaison des EPD provenant de différents pays.

Au niveau national, de nombreuses méthodes pour évaluer la durabilité des bâtiments existent déjà :

- en Grande-Bretagne, la méthode BREEAM – pour *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* ([www.breem.org](http://www.breem.org)) ;
- en France, la Démarche HQE – pour Haute Qualité Environnementale ([www.assohqe.org/](http://www.assohqe.org/)) ;
- en Suisse, le standard Minergie-Eco résultant d'une coopération des associations MINERGIE et eco-bau ([www.ecobau.ch](http://www.ecobau.ch)) ;
- aux Etats-Unis, la certification LEED – pour *Leadership in Energy and Environmental Design* ([www.usgbc.org/leed](http://www.usgbc.org/leed)) ;
- au Japon, le système CASBEE – pour *Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency* ([www.ibec.or.jp/CASBEE/english/index.htm](http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/index.htm))

Chaque méthode prend des directions légèrement différentes en favorisant ou en excluant certains aspects (aspects performances énergétiques, prise en compte des aspects sociaux et/ou environnementaux...). La difficulté principale se situe dans l'interconnexion des éléments à prendre en compte (hiérarchie, pondération) et dans le type d'acteurs impliqués. Les choix à faire pour une meilleure durabilité sont parfois complémentaires, parfois contradictoires...

On comprend donc l'intérêt de développer, à terme, une méthode d'évaluation commune pour toute l'Europe. Aujourd'hui, on s'attend à ce qu'elle s'inspire des deux méthodes qui y sont les plus répandues, BREEAM et HQE. Un rapprochement entre ces deux méthodes est déjà entamé, et la possibilité d'une double certification (BREEAM/HQE) est prévue pour 2010.

Tout un réseau se met en place au niveau local et international. En Allemagne, le DGNB (<http://www.dgnb.de/>) ou *German Sustainable Building Council* a développé son propre référentiel de certification. En Belgique aussi, SECO, le CSTC et BCCA ont décidé de définir une méthode nouvelle, en se basant sur ce qui existait ailleurs. C'est ainsi qu'est née la première démarche de certification belge dans le domaine des bâtiments, nommée VALIDEO. Cette démarche est actuellement volontaire et il n'est pour l'instant pas question de la rendre obligatoire, le but étant de pousser les porteurs de projet à faire mieux que les normes en vigueur. Calqué sur la même démarche, le CSTC définit un « référentiel pour le logement durable » qui s'appliquerait au logement neuf.

Récemment, de nombreux acteurs belges se sont rassemblés dans une plateforme commune et ouverte sous la coupe du *World Green Building Council*. L'appellation originelle de cette plateforme, « Local Green Building Council » devrait être abandonnée pour devenir « *Belgian Sustainable Building Council* » (BSBC).

La question de la construction durable est donc en plein développement, en Belgique comme ailleurs. Une série de critères et d'indicateurs quantifiables (et sans chevauchements) seront vraisemblablement bientôt définis et devront être acceptés par tous pour initier une démarche uniforme, complète et réellement opérationnelle permettant de juger (et d'améliorer) la « durabilité » des constructions.

Néanmoins, pour être complète, cette démarche devrait vraisemblablement comporter une série de critères d'ordre qualitatif.

En plus d'esquisser cette évolution qui est encore trop lente, le document s'est également proposé de donner un aperçu de la place qu'y prend le matériau béton.

Par l'analyse de résultats de recherche et des exemples de réalisations, il apparaît que le matériau béton, les systèmes constructifs à base de béton et les ouvrages en béton sont bien positionnés en termes de durabilité si tous les aspects présentés sont mis en application sur l'ensemble de leur cycle de vie et notamment au niveau de leur recyclage.



Une publication de :  
**FEBELCEM**

Fédération de l'Industrie Cimentière Belge  
Boulevard du Souverain 68 - 1170 Bruxelles  
tél. 02 645 52 11 - fax 02 640 06 70  
[www.febelcem.be](http://www.febelcem.be)  
[info@febelcem.be](mailto:info@febelcem.be)

Auteurs :

A. De Herde, A. Evrard  
Architecture et Climat, UCL  
*en collaboration avec :*  
N. Naert

Dessins : José Flémal



Architecture et Climat

Dépôt légal :  
D/2010/0280/07

Ed. resp. : A. Jasienski

[infobeton.be](http://infobeton.be)

Imprimé sur papier FSC



FOREST STEWARDSHIP COUNCIL