

# L'écobilan d'une construction: à quelle précision s'attendre?

Autor(en): **Homem de Freitas, Joana / Gay, Jean-Bernard**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **124 (1998)**

Heft 7

PDF erstellt am: **19.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-79380>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# L'écobilan d'une construction : à quelle précision s'attendre ?

Par Joana Homem de Freitas et Jean-Bernard Gay, LESO-EPFL, 1015 Lausanne

## 1. Introduction

L'évaluation de l'impact environnemental d'un matériau, d'un élément de construction, d'une activité de chantier et finalement de tout un bâtiment nécessite une connaissance précise des matières premières utilisées, de leur processus de fabrication et de mise en œuvre, des transports induits, enfin des conditions d'utilisation de la construction (contraintes, entretien, etc.).

Au cours de ces dix dernières années, des efforts importants ont été consentis, tant en Suisse qu'à l'étranger, afin de réunir les données nécessaires. Aujourd'hui, si le niveau de connaissances s'est considérablement accru, des questions subsistent quant à la précision de ces données et à la répercussion de leurs erreurs sur les impacts calculés.

## 2. Des matières premières au bâtiment

En termes d'écobilan, le bâtiment se caractérise par la grande diversité de ses composants, par sa durée de vie particulièrement longue, enfin par la forte influence que l'occupant exerce tant sur son exploitation que sur son entretien. On comprendra donc que le calcul de l'écobilan d'une construction ne se limite pas à une liste de matériaux, mais qu'il fait également intervenir les multiples opérations de fabrication, de mise en œuvre, d'exploitation et d'entretien, tout au long du cycle de vie considéré. Au départ, il convient de prendre en compte les matériaux de base.

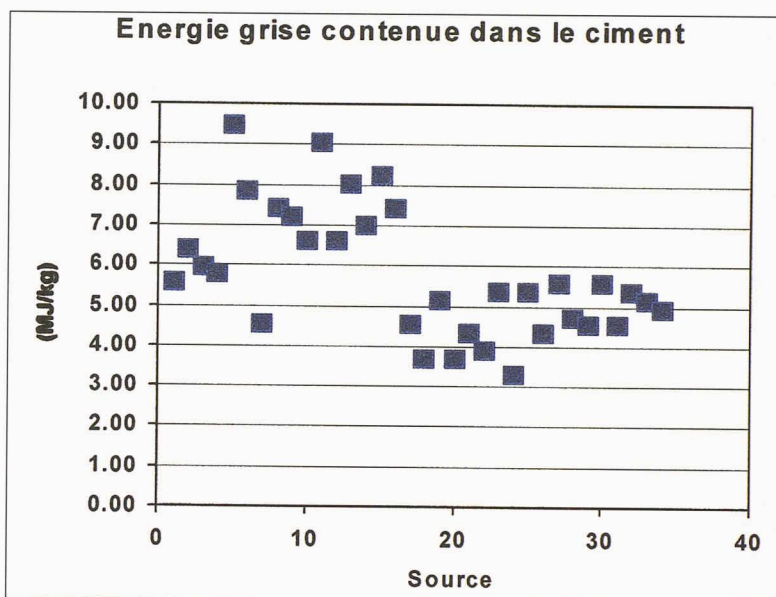


Fig. 2. – Variations de l'énergie grise du ciment selon les sources considérées [HO-

A titre d'illustration, considérons la production de ciment portland (fig. 1) : après avoir établi la liste des matières premières nécessaires à cette fabrication, il faut analyser l'ensemble du processus industriel en tenant compte des opérations et transports. Le résultat final se réfère donc au processus considéré et aux techniques en vigueur dans un pays et à un moment donné.

Dans ces conditions, on comprendra aisément que des données provenant de régions différentes, ou relatives à d'autres modes de fabrication, présentent une dispersion importante (fig. 2).

Dans l'étape suivante, les matériaux se combinent pour former les éléments du bâtiment, si bien que

l'analyse d'un élément en béton ne se limite pas aux matériaux de base (ciment, sable, gravier, acier) qui le constituent, mais comprend également les travaux de mise en œuvre (préparation, transport, vibration), ainsi que les éléments et opérations annexes (coffrage, grue). De ce fait, la consommation d'énergie et les émissions liées à la mise en œuvre d'une tonne de béton seront sensiblement différentes selon que l'on considère un radier, une dalle ou des piliers préfabriqués (fig. 3).

De manière semblable, il faudra successivement considérer les opérations nécessaires à l'achèvement du bâtiment, à son exploitation, à son entretien, finalement à sa démolition, en fin de vie.

Des facteurs d'incertitude apparaissent à chaque étape de l'analyse, qui se répercutent tout au long du calcul et affectent le résultat final. Les principales sources d'erreurs se situent au niveau :

- de la saisie des masses (quantités, poids spécifiques),
- des données relatives aux matériaux et opérations (énergie grise, émissions),
- des facteurs de pertes sur le chantier (casse, perte de matière),

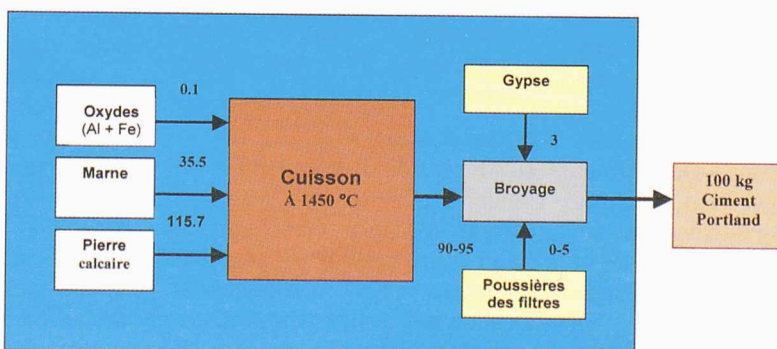


Fig. 1. – Processus de fabrication du ciment Portland [ESU 95]

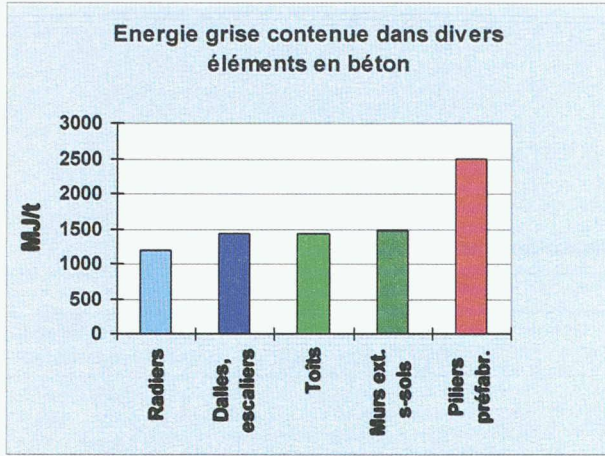


Fig. 3. – Energie grise contenue dans une tonne de béton selon l'élément considéré [JUT 97]

- d) des diverses activités de chantier (transports, énergie, fluides),
- e) de l'influence de l'occupant (consommation, comportement),
- f) de la durée de vie des différents composants et du bâtiment lui-même.

Devant le nombre de ces incertitudes on peut se demander si l'écobilan du bâtiment a encore un sens et, dans l'affirmative, quel crédit lui accorder. Ces questions ont fait l'objet d'un travail de maîtrise dans le cadre du « Cycle post-grade en énergie » de l'EPFL [HOMEM]<sup>1</sup>.

### 3. Approche adoptée

Une méthode originale de calcul a été développée afin de permettre

<sup>1</sup> Les références entre crochets renvoient à la bibliographie générale établie pour l'ensemble des six articles consacrés à l'architecture et au développement durable (voir p. 106)

d'estimer, d'une part, les erreurs attachées aux différents facteurs du bilan, d'autre part, leurs impacts sur le résultat final.

L'erreur relative attachée aux différents facteurs considérés n'étant généralement pas connue, ceux-ci ont été qualifiés par une note, ou indice de qualité, exprimant le niveau de connaissance qu'on en a. Pour les matériaux de construction, cinq critères ont été considérés: la fiabilité, l'exhaustivité, la corrélation temporelle, la corrélation géographique enfin la corrélation technologique (tableau 1). Sur la base des informations disponibles, une note a été donnée en relation avec chaque critère, la note moyenne étant finalement obtenue par pondération de l'ensemble des critères.

L'écart type, relatif au facteur considéré, a été calculé à partir de la note moyenne. Pour ce faire, une relation quadratique a été retenue, afin de pénaliser plus fortement les notes les plus mauvaises. Les termes de l'écobilan ont alors été calculés en générant, pour chacun des facteurs, des nombres aléatoires selon une distribution normale correspondant à la valeur moyenne et à l'écart type obtenus.

### 4. Application pratique

La méthode a été appliquée à un immeuble de logements qui a fait l'objet d'une étude détaillée [GAY 97]. Ce bâtiment, d'un volume de 8510 m<sup>3</sup>, est constitué de 49 matériaux principaux. Parmi ceux-ci, beaucoup n'ont qu'un impact limité (moins de 5%) en termes d'énergie, de potentiel d'effet de serre (kg(CO<sub>2</sub> équivalent)) ou de potentiel d'acidification (g(SO<sub>x</sub> équivalent)). Aussi, dans un souci de simplification, nous sommes limités aux dix constituants qui présentaient, pour l'un au moins des trois impacts considérés, un effet de plus de 5%. Le tableau 2 donne une liste de ces dix constituants avec, pour chacun d'eux, son indice de qualité moyen et ses impacts spécifiques. Pour les phases de construction et d'entretien, ces dix constituants représentent à eux seuls 54% des besoins en énergie (y compris l'énergie grise), 63% de l'effet de serre et 71% du potentiel d'acidification. La figure 4 montre le résultat obtenu en termes d'énergie non renouvelable: sur une durée de huitante ans, la construction et l'entretien d'une telle construction nécessite 174 MJ par mètre carré de plancher chauffé et par an,

Tableau 1 – Echelle de notes, ou indice de qualité, en fonction des critères retenus

Critère	Fiabilité	Exhaustivité	Corrélation temporelle	Corrélation géographique	Corrélation technologique
Pondération:	25 %	25 %	20 %	10 %	20 %
<b>Note 1</b>	Donnée vérifiée basée sur des mesures	Donnée représentative issue de nombreuses entreprises	Donnée de moins de 3 ans	Donnée provenant de la région considérée	Données de l'entreprise concernée
<b>2</b>	Donnée partiellement vérifiée	Donnée représentative issue d'un nombre limité d'entreprises	Moins de 6 ans de différence	Donnée d'une surface large contenant le site	Même procédé, mais entreprise différente
<b>3</b>	Donnée partiellement basée sur des suppositions	Donnée représentative limitée à quelques entreprises et à un petit intervalle de temps	Moins de 10 ans de différence	Donnée d'une région avec les mêmes conditions de production	Matériaux et technologie voisins
<b>4</b>	Estimation qualifiée	Donnée représentative, mais partiellement incomplète	Moins de 15 ans de différence	Région avec quelques conditions semblables	Même matériau, mais technologie différente
<b>5</b>	Estimation non qualifiée	Donnée incomplète ou niveau inconnu	Age inconnu ou plus de 15 ans	Région inconnue ou production différente	Matériau et technologie différents

Tableau 2 – Indice de qualité et impacts spécifiques des dix constituants considérés

	Masse totale (t)	Note finale	Impacts spécifiques		
			Energie non renouv. (MJ/kg)	Potentiel d'effet de serre (kg(CO <sub>2</sub> équiv.)/kg)	Potentiel d'acidification (g(SO <sub>2</sub> équiv.)/kg)
Béton	3035	2	0,78	0,132	0,46
Plâtre	256,5	2,7	4,84	0,32	2,05
Acier d'armature	141,7	2,9	13	0,77	3,63
Aggloméré de bois	23,04	2,5	6,5	-2,6	3,17
Céramiques	15,8	4	45,2	2,18	7,02
Aluminium	6,03	3,6	227	12,9	107
Verre	6	3,4	15	1,18	89
Inox	4,96	4,3	102	5,92	297
App. ménagers	1,88	4,4	60,3	21,6	131
Install. chauffage	1,74	4,4	60,3	21,6	131

#### Références

- [CFE] CFE – « Code des frais par éléments », SN 506502, Centre suisse d'études pour la rationalisation de la construction (CRB), Zurich, 1995
- [CVR] CFE – « Catalogue des valeurs référentielles », Centre suisse d'études pour la rationalisation de la construction (CRB), Zurich
- [ECONOCAL] ECONOCAL 1.0 – Logiciel d'optimisation des installations techniques avec prise en compte des coûts externes de l'énergie, PACER, 1996
- [ESU 94] ESU Gruppe – EPF Zurich: « Oekoinventare für Energiesysteme », 1994
- [ESU 95] TH. WEIBEL & A. STRITZ: « Oekoinventare und Wirkungsbilanzen von Baumaterialien », ESU – Reihe Nr. 1/95
- [GAY 97] J.-B. GAY, J. HOMEM DE FREITAS, CH. OSPILT ET P. RITTMAYER: « Toward a Sustainability Indicator for Buildings », Buildings and the Environment – Second International Conference – Paris, 1997
- [HOMEM] J. HOMEM DE FREITAS: « Etude de sensibilité aux données initiales de l'écobilan d'un bâtiment et analyse économique de ses installations techniques », travail de maîtrise, cycle postgrade en énergie, EPFL, 1997
- [HOWARD] N.P. HOWARD: « Embodied Energy and consequential CO<sub>2</sub> in Construction », International Symposium of CIB, 1996
- [INFRAS ] Infrac – Ecoconcept – Prognos: « Les milliards oubliés – Coûts externes de l'énergie et des transports », Edition Paul Haupt, Berne, 1996
- [JUT 97] J.-B. GAY, J. HOMEM DE FREITAS, CH. OSPILT, P. RITTMAYER ET O. SINDAYIGAYA: « Standardizing Sustainability: Toward Creating a Sustainability Index for Buildings », *The Journal of Urban Technology* Vol.4 (1997) p. 51-67
- [KOH 86] N. KOHLER: « Analyse énergétique de la construction, de l'utilisation et de la démolition de bâtiments », thèse EPFL, 1986
- [KOH 94] N. KOHLER ET AL.: « Energie- und Stoffflussbilanzen von Gebäuden während ihrer Lebensdauer », EPFL-LESO/ifib Universität Karlsruhe, 1994
- [NOH 95] M. GOEDKOOP: « The Eco-indicator 95 », NOH No.9523, Amersfoort, 1995
- [LESOSAI 4] Programme LESOSAI 4.0: « Calcul du bilan thermique d'une construction » LESO – CENprEN832 – SIA 380/1 et SIA 180/1, Lausanne, 1996
- [OGIP DATO] BEW Forschungsprojekt: « OGIP/DATO – Optimierung von Gesamtenergieverbrauch, Umweltbelastung und Baukosten », Schlussbericht, 1996
- [OTD] Ordonnance sur le traitement des déchets, Berne, 1990
- [SETAC] « Guidelines for Life-Cycle Assessment – A Code of Practice », SETAC Europe, Bruxelles, 1993
- [SIA D093] Société suisse des ingénieurs et architectes: « Canevas pour la déclaration des caractéristiques écologiques des matériaux de construction », Zurich, 1993
- [SIA D0123] Société suisse des ingénieurs et architectes: « Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten », Zurich, 1995

l'écart type sur cette même valeur atteint, quant à lui, 18,8 MJ/m<sup>2</sup> an, soit un peu plus de 10 %. Pour les deux autres impacts considérés (effet de serre et acidification), l'écart relatif est un peu plus élevée.

#### 5. Phase d'exploitation

En phase d'exploitation, les exigences et le comportement de l'occupant ont un impact direct sur les besoins en énergie et, partant, sur les autres impacts environnementaux. Afin de quantifier ces effets, trois occupants types ont été définis: l'économe, l'occupant moyen et le gaspilleur. Pour chacun d'eux, des hypothèses réalistes ont été admises (tableau 3), qui sont basées sur des observations réelles effectuées dans quelques immeubles locatifs.

Les facteurs d'impact liés à la production d'énergie (gaz et électricité) ont été déterminés sur la base d'une étude récente [ESU 94], cette même étude ayant également servi de base au calcul de l'écart type caractéristique de chaque filière considérée. Pour l'électricité, les impacts ont été calculés en fonction du courant européen (UCPTE). Le tableau 4 donne les moyennes et les écarts types relatifs aux trois occupants types.

#### 6. Conclusions

Ce travail a permis de se faire une première idée de la précision que l'on peut attendre d'analyses en cycle de vie d'un bâtiment. On constate que, même si de nombreuses lacunes demeurent au niveau des données, on arrive à

Tableau 3 – Hypothèses admises au niveau du comportement de l'occupant

Variable	Unité	Occupant		
		Econome	Moyen	Gaspilleur
Température intérieure	(°C)	18,5	20,5	22,5
Taux de ventilation moyen	(1/h)	0,2	0,6	0,8
Fraction ombrée moyenne	(%)	10%	25%	42%
Consommation d'eau chaude	(l/pers. jour)	20	40	80
Consommation électrique	(MJ/m <sup>2</sup> an)	60	90	185

Tableau 4 – Effet du comportement de l'occupant sur les trois types d'impacts considérés. L'énergie non renouvelable se rapporte aux besoins en énergie primaire. Il ne s'agit donc pas d'un indice de dépense d'énergie au sens habituel.

Impact	Unité				Ecart type		
		Econome	Moyen	Gaspilleur	Econome	Moyen	Gaspilleur
Energie non renouvelable	MJ/m <sup>2</sup> an	686	1009	1611	49	72	115
Potentiel d'effet de serre	kg(CO <sub>2</sub> )/m <sup>2</sup> an	35	53	84	2,5	3,8	6
Potentiel d'acidification	g(SO <sub>x</sub> )/m <sup>2</sup> an	123	160	276	11,4	14,3	25,3

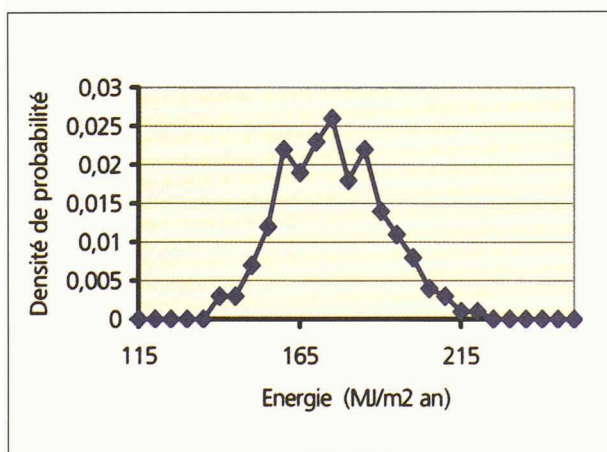


Fig. 4. – Distribution de probabilité obtenue lors du calcul de l'énergie non renouvelable nécessaire à la construction et à l'entretien du bâtiment

une précision acceptable au niveau du bâtiment, en particulier en termes d'énergie: l'énergie englobée par la construction et la rénovation représente environ 15 % de la dépense d'énergie globale. Cela n'est pas le cas pour le potentiel d'acidification, pour lequel la part « construction et rénovation » atteint 40 %.

Une des limitations de la méthode adoptée vient de la subjectivité associée au calcul des indices de qualité des différentes variables, et tout spécialement des facteurs d'impact. Même si un grand souci de rigueur a accompagné leur calcul, le manque d'informations li-

mite la précision de la méthode. La détermination systématique des indices de qualité, selon le tableau 3, lors de la détermination des données de base sur les matériaux permettrait une approche plus fiable en termes de précision.

Finalement, à chaque variable correspond un indice de qualité unique, celui-ci est obtenu en calculant une moyenne pondérée des différentes valeurs des critères considérés. Si une certaine subjectivité résulte de cette pondération, nous considérons toutefois cette approche comme plus correcte que celle consistant à choisir l'indice de qualité le plus mauvais.

## Le professeur René Walther fête ses 70 ans

En 1993, les exploits de sa carrière ont été décrits par lui-même dans la série « Sie bauen und forschen: Bauingenieur und ihr Werk » de la revue *Beton- und Stahlbetonbau*, où le lecteur intéressé trouvera sur sept pages illustrées toutes les facettes d'une vie d'ingénieur exceptionnelle.

Avant ses adieux à l'EPFL, il y a trois ans, il a encore donné un bel exemple de son approche en vue de combiner efficacement pratique et recherche appliquée, avec sa participation fortement appréciée à la réalisation du pont haubané de Schaffhouse<sup>1</sup>.

Depuis lors, il fait des passages éclair à l'IBAP-EPFL, devenu en partie MCS, soit pour préparer des conférences sur la base de « ses » dias, soit pour faire part à ses anciens collègues ou collaborateurs de son activité professionnelle, toujours impressionnante, au sein de « son » bureau d'études ou de « sa » FIP.

En tant que président de cette dernière, il a lancé, en 1988, la fusion CEB-FIP, et il a bien veillé à ce que la

longue procédure de mise en œuvre soit menée à bonne fin. En effet, au mois de mai prochain, les deux associations sœurs créées en 1953 transmettront le relais à la FIB: la Fédération internationale du béton, avec secrétariat général au département de génie civil de l'EPFL.

En remerciant René Walther de sa collaboration fructueuse, que nous avons appréciée pendant des décennies, nous lui souhaitons de poursuivre sa retraite active encore longtemps, tout en espérant qu'il s'arrêtera, de temps en temps, à notre institut lors de ses multiples trajets entre Bâle et Chandolin.

Renaud Favre et Manfred Miehlsbradt

La rédaction de IAS s'associe très sincèrement aux vœux des anciens collègues et collaborateurs du « professeur volant ».

<sup>1</sup> Voir IAS N° 4/1997, pp. 42-49: « Pont autoroutier sur le Rhin à Schaffhouse »