

Collection Bâtiments
Durables du Grand-Est

L'ACV pour les nuls

Version 2018 - ©

Dominique LOIR-MONGAZON



Table des matières

Préambule :	3
1. Quelles différences entre ACV et Ecobilan	3
2. De la pertinence des indicateurs environnementaux.....	4
3. Des frontières où la douane se déplace	6
4. Une histoire de recette	7
5. Le cycle de vie à la loupe	8
6. Tout le monde ne peut pas devenir centenaire	15
7. De l'unité fonctionnelle à l'expression des résultats	18
8. Comment ne pas être grisé par l'énergie	19
9. L'effet de serre a de quoi nous réchauffer les neurones	21
10. Une tuile n'arrive jamais seule	22
11. Le mix énergétique comme nouvelle source de tracas.....	23
12. Les banques de données ressemblent à Fort Knox.....	26
13. Des boites plus ou moins noires pour faire les calculs.....	27
14. Conclusion	29
15. Quelques ouvrages de référence.....	31
ANNEXES	32

Préambule :

Traiter d'un sujet aussi abscons et abstrait que l'ACV (*Analyse Cycle de Vie*) est une gageure qui, sans un agrément humoristique, peut conduire rapidement à déclencher un AVC. Aussi, comme le lecteur est supposé comprendre ce parcours du combattant du berceau à la tombe, je tâcherai d'éviter ce dernier écueil pour qu'il puisse, à son tour, diffuser les quelques explications qui vont suivre et qui je l'espère enrichiront sa réflexion.

L'**ACV** a remplacé progressivement le terme d'**Ecobilan** utilisé pour des démarches de communication sans cadre véritablement formalisé. Pour mieux comprendre ces deux problématiques, il est nécessaire de dépoussiérer les bases méthodologiques et déontologiques normalisées au niveau international pour l'ACV (famille des normes ISO 14040 qui apparaissent en 1997) et non normalisées pour l'écobilan. Bien que la méthode paraisse simple, son cadre, ses principes et ses lignes directrices sont pour le moins contestables et sujets à diverses interprétations.

3

1. Quelles différences entre ACV et Ecobilan

Les mélanges de genre étant légion, pour ne pas commettre d'impair dès le début, il est bon de comprendre les tenants et aboutissants de ces deux démarches environnementales pour les différencier.

- **L'écobilan** est une démarche d'évaluation d'un produit ou d'un service qui ajoute des critères environnementaux aux critères techniques et économiques retenus jusqu'alors. Les résultats de cette évaluation ont pour objectif de dégager des ordres de grandeurs d'impacts environnementaux pour pouvoir comparer différents matériaux ou différentes solutions constructives entre eux. Il intègre une logique simplifiée du cycle de vie du produit.
- **L'ACV** est une méthode normalisée (ISO 14040-14044) qui permet au concepteur, au constructeur ou au vendeur de matériaux de communiquer sur les performances environnementales globales de ses produits. L'ACV est la méthode la plus aboutie d'évaluation quantitative des impacts environnementaux.

Selon la norme EN ISO 14040, l'analyse de cycle de vie est un processus itératif composé de 4 étapes principales comme on peut le voir sur la figure 1.

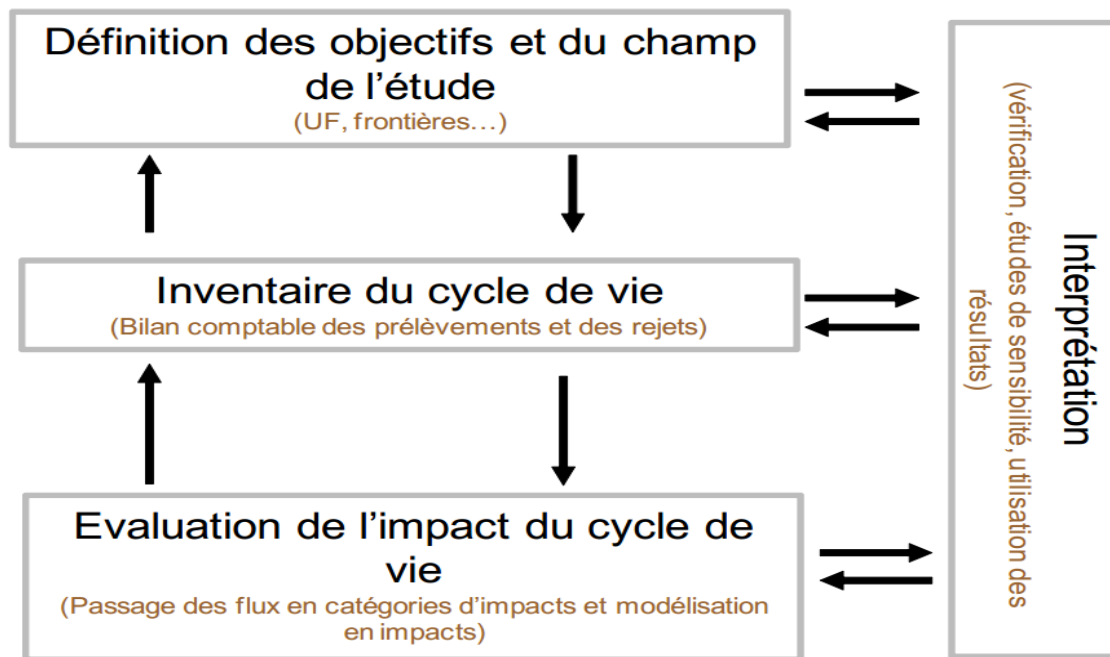


Figure 1 : Les différentes phases de l'ACV selon la norme ISO 14040 :

2. De la pertinence des indicateurs environnementaux

L'ACV est une démarche qui repose sur des indicateurs environnementaux. Ils peuvent aller jusqu'à 15 comme on peut le voir sur la figure 2 mais certains sont difficilement compréhensibles et peu pertinents !

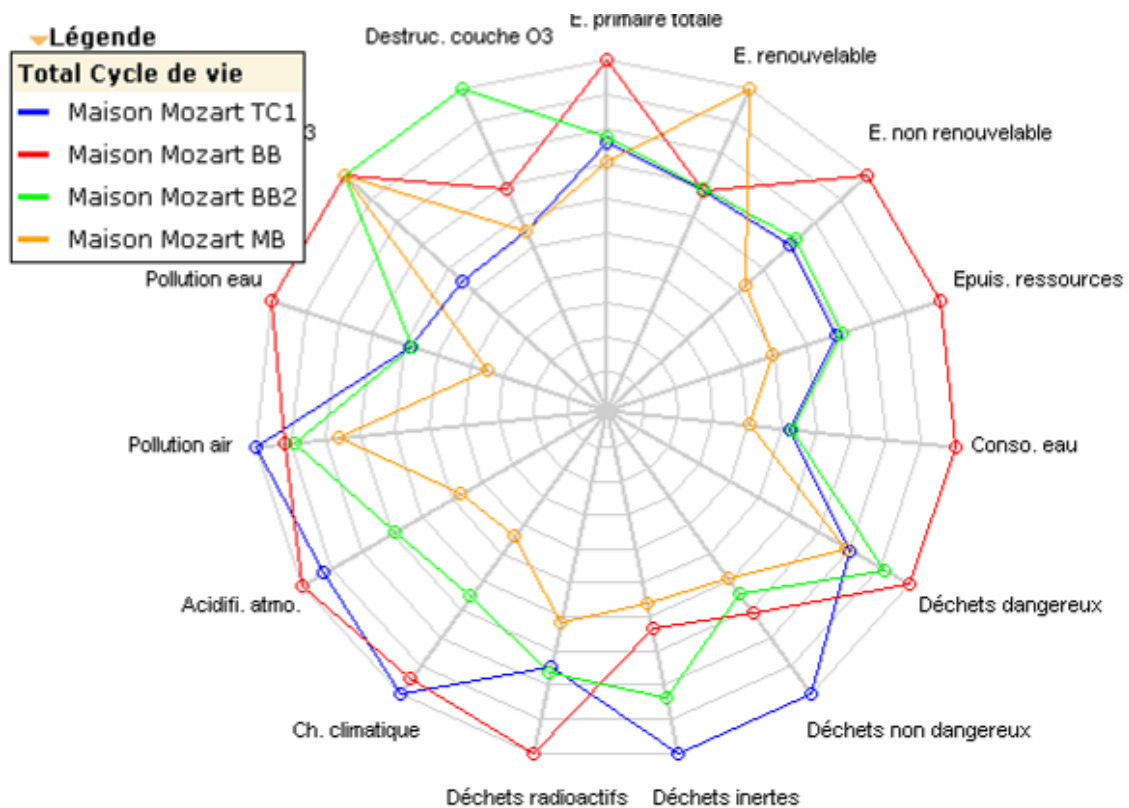


Fig2 : Les indicateurs d'ACV pris en compte dans une étude sur le bâtiment

Les diagrammes radars environnementaux sont le plus souvent des représentations que seuls quelques experts sont capables d'analyser et dont certains indicateurs sont très approximatifs.

Il est indéniable que tenir compte du potentiel d'eutrophisation pour un engrais agricole ou du potentiel toxicologique pour un médicament est légitime, mais pour un bâtiment est-ce bien utile et est-ce bien compréhensible ? Dans un projet de construction, il semble donc peu pertinent d'utiliser l'ensemble des indicateurs disponibles.

Pour un bâtiment il est préférable de ne retenir comme indicateur que les principaux (*consommation d'énergie, d'eau, confort thermique, qualité de l'air intérieur, déchets, émissions de CO₂ et énergie primaire*) soit ceux de l'annexe environnementale telle que définie par le décret du 30 décembre 2011. Il peut même être judicieux de parler d'écobilan et de ne retenir comme indicateurs que ceux qui ont un impact significatif et indéniable sur l'environnement comme l'énergie grise ou les émissions CO₂ (voir figure 3).

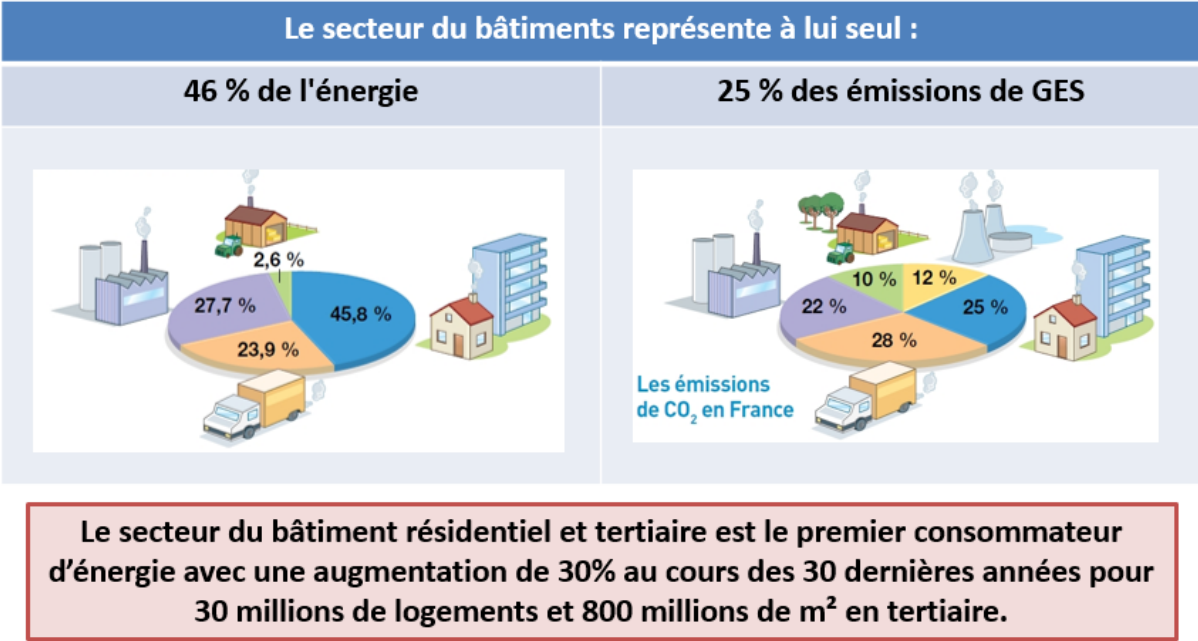
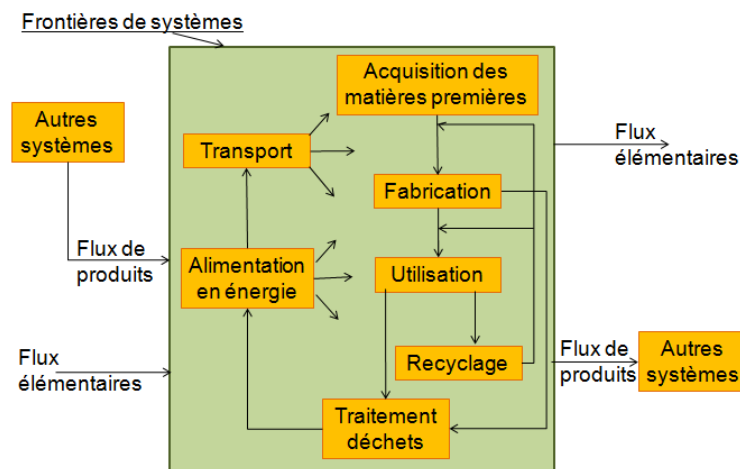


Fig 3 : l'impact du secteur bâtiment sur la consommation d'énergie et sur les émissions de CO₂

En raison du renchérissement du coût de l'énergie, de la dégradation de notre environnement et du respect de nos engagements internationaux, l'introduction des considérations environnementales est de plus en plus prise en compte dans les prises de décisions. Mais parfois des logiques moins nobles entraînent les industriels à avoir recours à une ACV. Pour éviter ce Green Washing, qui n'aurait pour unique objectif que de verdir une image ou un produit pour mieux le vendre, il est d'abord nécessaire de bien comprendre les rouages permettant de définir les mécanismes en jeu.

3. Des frontières où la douane se déplace

La série des normes ISO 14040 décrit la méthodologie et la déontologie que doivent suivre les ACV c'est-à-dire le cadre. Mais où s'arrête-t-il exactement ?



6

Pour constituer une base de données fiable et représentative sur des critères environnementaux, il est dans un premier temps nécessaire de bien délimiter les **frontières du système** et de faire un choix pertinent des informations à prendre en compte pour déterminer nos flux de matière, d'énergie et de produits.

Afin de connaître l'impact de nos matériaux ou de notre acte de construction ou de rénovation sur l'environnement, doit-on suivre à la lettre la définition « **du berceau à la tombe** » ou réfléchir à des limites moins vitales et plus parlantes ?

Pour bien représenter notre système, 3 grands types de limites sont à définir :

- **Ses limites géographiques** qui englobent les emplacements des différents processus élémentaires (*provenance des matériaux, situation du ou des sites de production, lieu du crime ou de l'acte architectural...*)
- **Ses limites spécifiques** qui définissent les différentes étapes que nous considérons opportunes. Démolir pour reconstruire n'a ni les mêmes vertus, ni les mêmes conséquences que restaurer ou réhabiliter. Pour une rénovation, les quantités de matériaux entrant en jeu sont très inférieures à celles nécessaires à une démolition reconstruction.
- **Ses limites naturelles** qui constituent les frontières entre la techno sphère et la biosphère. Des normes environnementales locales peuvent compliquer nos savants calculs et les acteurs institutionnels peuvent encourager ou non des modes de production ou de consommation plus durables au travers de labels ou de cahiers des charges spécifiques !

Il est facilement compréhensible qu'en fonction des limites que l'on va imposer à notre système, les flux élémentaires de produits et d'énergie seront d'une part différents et d'autre part plus ou moins précis.



Comme l'a souligné la Commission européenne en décembre 2009, pour que les déclarations environnementales présentent un caractère informatif pour les consommateurs et assurent efficacement la promotion des biens et services ayant un faible impact sur l'environnement, il est impératif qu'elles soient claires, précises et non trompeuses. Il est donc nécessaire d'instaurer un cadre de concurrence saine entre les opérateurs concernés....

Pour que ce vœu pieux de la Commission devienne réalité, il faudra attendre le 1er juillet 2017, date à laquelle les déclarations environnementales devraient être vérifiées par une tierce partie indépendante comme cela se fait depuis longtemps en Suisse. Mais à cette date le niveau d'incertitude des données sera-t-il traité par les FDES ?

Petit bémol, la réalisation de cette déclaration ne sera obligatoire que si le fabricant choisit de communiquer volontairement sur un aspect environnemental de son produit.

7

4. Une histoire de recette

Pour réaliser un bon écobilan il faut bien choisir ses ingrédients, et bien respecter la recette !

- **Un logiciel d'ACV reconnu et compréhensible.** Les résultats complets sont souvent difficilement compréhensibles et interprétables par les maîtres d'ouvrage (MOA) et les maîtres d'œuvre (MOE).
- **De nombreuses années d'expérience et d'apprentissage,** pour sélectionner ou estimer de façon pragmatiques les données à retenir. Les sources d'informations sont souvent approximatives, imprécises voire totalement opaques ou inexistantes.
- **Une base de données fiables et transparentes** car plus les incertitudes sur les données sont importantes, plus les résultats sur les impacts sont imprécis voire farfelus. L'incertitude sur les données est le plus souvent comprise entre + ou - 15% mais peut dépasser parfois les 50% !

Pour être tout à fait transparent, un industriel ayant une large gamme de produits devrait réaliser une ACV par produit. Pour simplifier la démarche, il suffit le plus souvent de ne tenir compte que des modifications résultants de la composition d'un mélange ou celles modestes d'un procédé de fabrication pour obtenir un résultat satisfaisant.

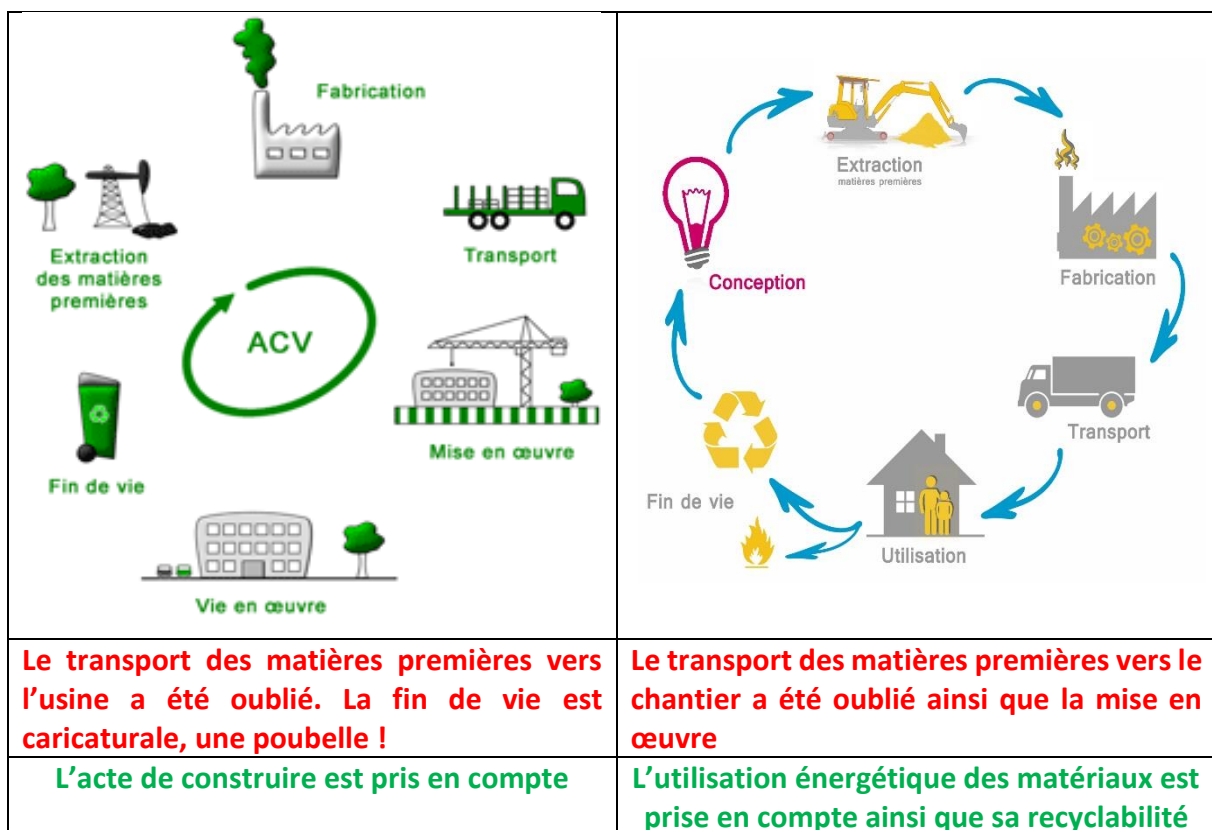
Pour résumer, l'ACV est l'outil permettant de calculer un impact élémentaire et la démarche d'écobilan l'outil de communication qui permet à l'entreprise de se démarquer de ses concurrents.

Kephir-Environnement a développé une solution logicielle innovante pour simplifier cette démarche et la rendre facilement utilisable aux professionnels du bâtiment. Ceux-ci peuvent donc introduire aisément dans leurs projets des scénarios prenant en considérations l'environnement.

Le logiciel **Kephi-Bât** présente les impacts générés par l'utilisation des matériaux ou par le choix d'un système de façon parlante. Il permet de faire des simulations de façon simple. Il fournit ainsi des éléments d'aide à la décision pour les professionnels du bâtiment ou les maîtres d'ouvrage souhaitant présenter une démarche environnementale dans leurs projets.

5. Le cycle de vie à la loupe

Comme nous pouvons le constater, les deux cycles schématisés ci-dessous se ressemblent sans toutefois être totalement identiques. A des fins de simplification, les étapes prises en compte dans les représentations schématiques des ACV faites par les industriels se limitent généralement à 6 selon la norme européenne NF EN 15804 applicable depuis décembre 2014 aux déclarations environnementales des produits du bâtiment (voir annexe 1).



Pour ceux qui n'ont jamais réalisé une ACV, ces jolis schémas sont intellectuellement satisfaisants, mais si l'on ne souhaite pas que l'arbre cache la forêt et que l'on veut éviter les chausse-trapes, il est bon d'étudier plus en détail ces représentations.

Certaines étapes schématisées ou non peuvent poser des problèmes d'estimation et de calcul.

- **Le transport des personnes :** (*trajets domicile-travail, déplacements professionnels, déplacements des visiteurs, des clients...*). Ce poste transport domicile-travail est sans doute celui qui est le plus difficile à estimer, qu'il soit exprimé en énergie dépensée ou en émissions carbone. Comme le montre la figure 4, les impacts peuvent varier avec un facteur de 150.

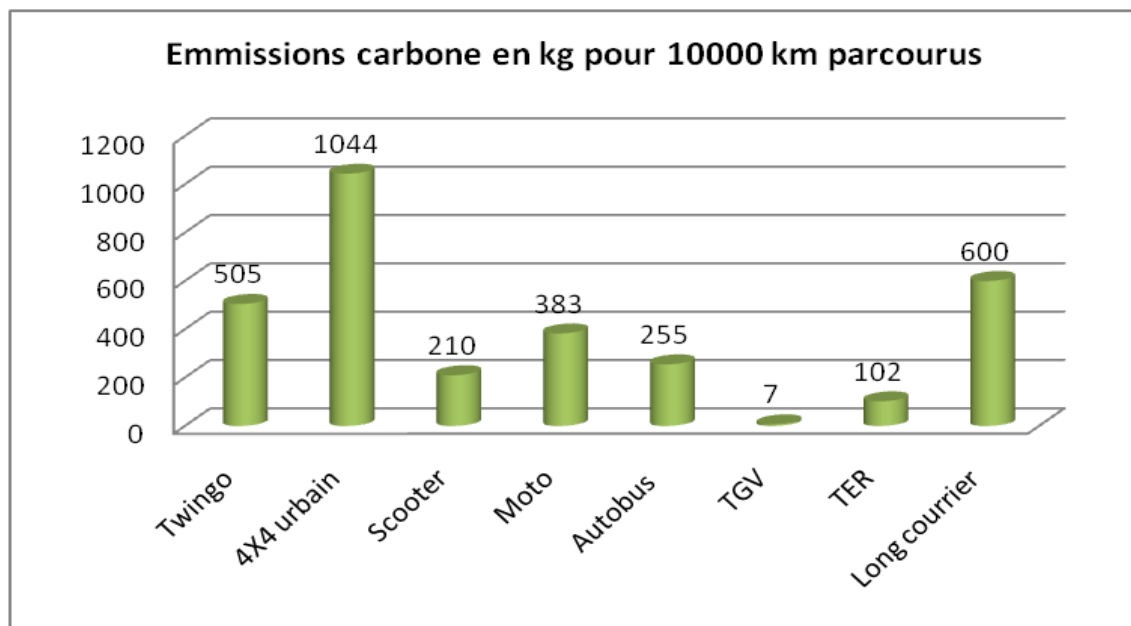


Fig 4 : Comparaison des émissions carbone de différents moyens de transport

Il faut savoir que les trajets domicile/travail représentent à eux seuls 30 % de l'usage des transports routiers qui représentent 57 % de la consommation mondiale de pétrole.

Des données incertaines, comme les distances de transport, donnent lieu à des analyses de sensibilité pour voir comment la variation de ces données affecte les résultats finaux.

Les pratiques de covoiturage permettent donc de modifier considérablement ce poste, surtout quand elles sont poussées à l'extrême, comme on peut le voir sur la photo de la page suivante, qui souligne bien une démarche écoresponsable pour l'environnement et éco-irresponsable pour la police !



- **Le transport des marchandises** : Ce poste est très vaste. Il comprend le transport des matières premières extraites ou récoltées ainsi que le transport des autres intrants de fabrication vers l'usine et le transport des produits finis de l'usine vers le site de construction ou de réhabilitation. Le trajet des matières premières vers les unités de fabrication est le plus souvent bien connu et généralement ces dernières s'installent à proximité des sites de production ou d'extraction. Par contre les circuits de distribution sont le plus souvent complexes et posent des problèmes car les trajets depuis l'usine vers les distributeurs de matériaux ne peuvent pas être connus à l'avance et peuvent changer en fonction de raisons politiques ou commerciales.

La méthode utilisée dans les ACV consiste à moyenniser les distances ce qui engendre de grandes incertitudes en raison de l'impact très différent des moyens de transport (voir figure 5). Il est donc plus logique de s'arrêter à la porte de l'usine (**démarche « cradle to gate »**) puis de rajouter le transport vers le site de construction. Ce parti pris est celui de la base de données suisse KBOB / Ecoinvent utilisée dans le logiciel **Kephi-Bât**

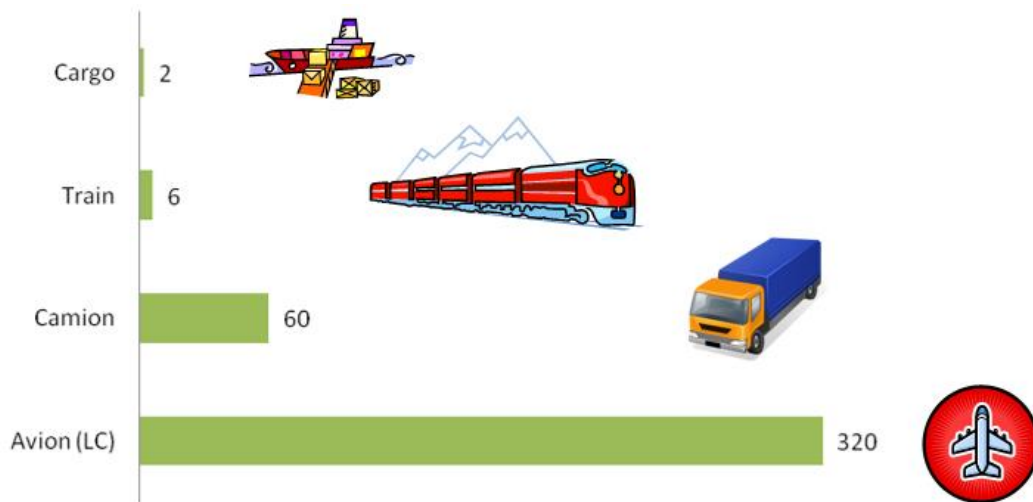


Fig 5 : Emissions liées au transport en g eq C / tonnes x kilomètres

- Les émissions liées à la fin de vie** : Considéré comme poubelle de l'activité par certains, ce poste fait partie de ceux qui évoluent le plus vite et il est donc particulièrement difficile à cerner. Même si l'on connaît la recyclabilité de certains matériaux, qui est capable actuellement de connaître la quote-part de ceux qui finiront en décharge, qui seront brûlés à des fins énergétiques ou qui seront réellement recyclés dans de nouveaux produits ? Pourtant selon le choix qui va être fait sur la destinée des matériaux, le résultat sur l'ACV peut être très différent comme le montre la figure 6.

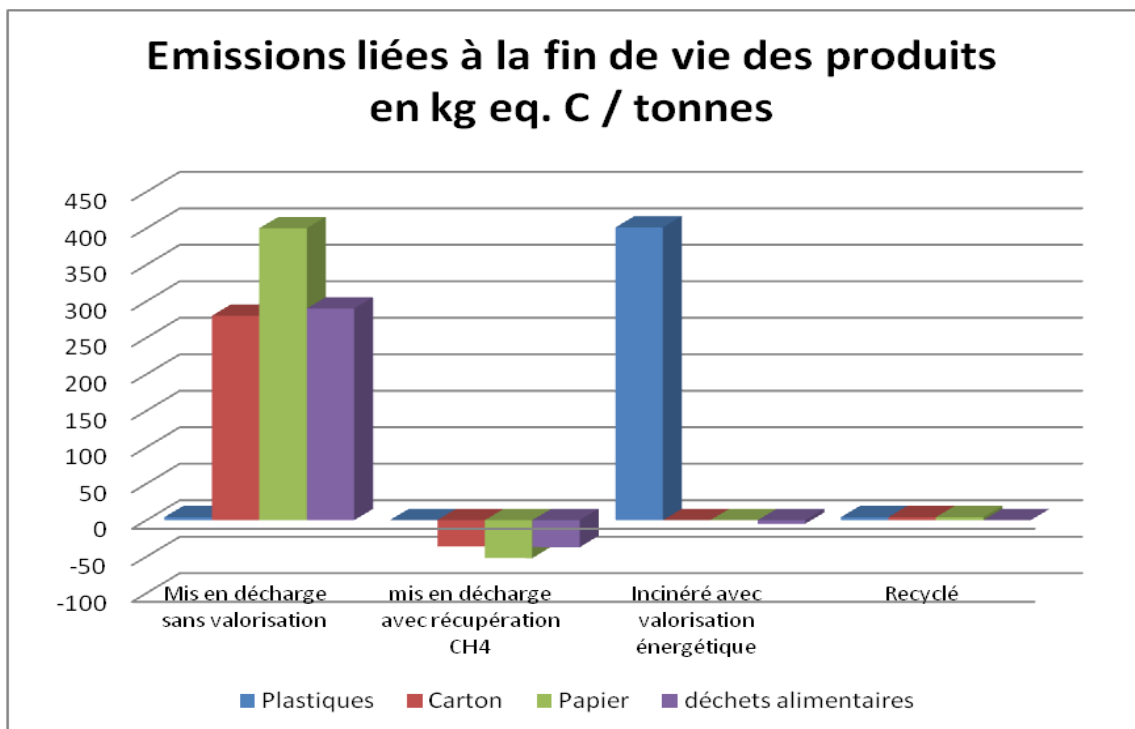


Fig 6 : Comparaison de 4 produits en fonction de leur devenir en fin de vie

Avant d'avancer certains chiffres, il est nécessaire de bien connaître l'impact sur l'environnement de ce que nous considérons comme des déchets. Si nous prenons uniquement les estimations faites par l'Ademe sur le papier (voir figure 7), il paraît indispensable de poursuivre cette analyse sur d'autres matériaux avant de se lancer dans de hâtives conclusions.

Un diagnostic déchets avant démolition pour rechercher les meilleures solutions de valorisation dans des filières appropriées avec le moins de transformation possible s'avère être de la sagesse mais se révèle complexe. Le guide de la construction et de la rénovation durables du CRTE précise les possibilités de recyclage pour un grand nombre de matériaux.

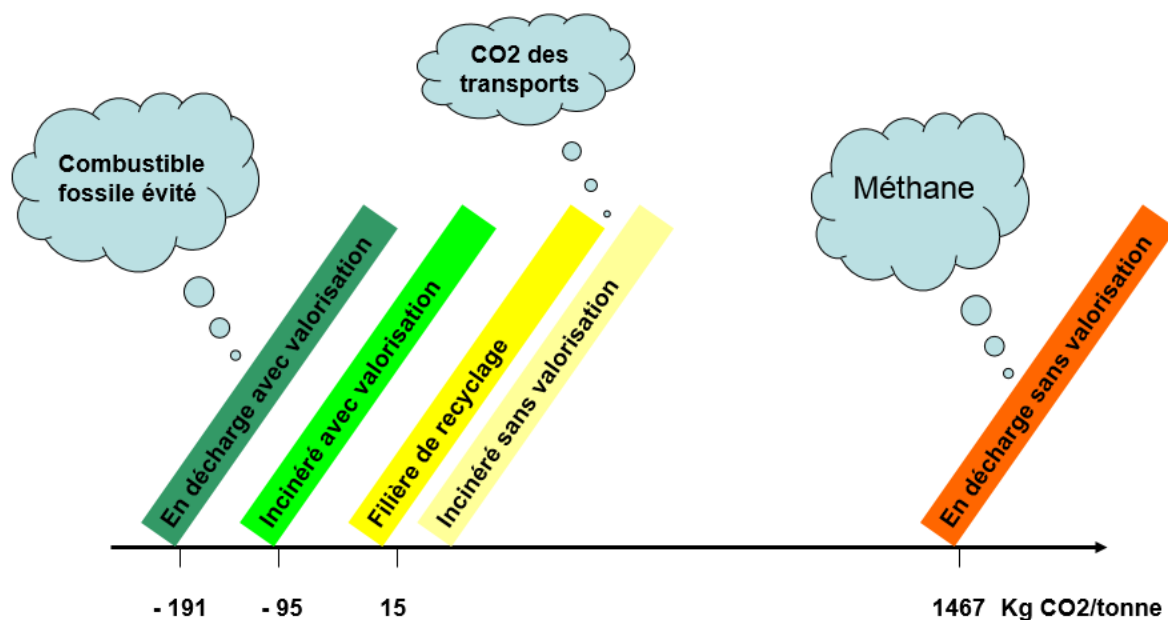


Fig 7 : Emissions en kg de CO₂ par tonne de papier jeté (source ADEME)

Pour voir comment la fin de vie peut jouer sur le résultat, je prendrai deux exemples diamétralement opposés, celui du béton et celui du bois.

Le béton : En France, la majorité des ouvrages d'art, (80 % des logements individuels et 90 % des logements collectifs) sont construits en béton et la fabrication d'une tonne de ciment émet environ 650 kg de CO₂. Pourtant la carbonatation du béton est un phénomène indissociable de ce matériau de construction. Ce phénomène peut, selon les spécialistes, recapter de 50 à 60 % de ce CO₂ si l'on tient compte de sa mise en décharge.

D'après certaines études, les granulats de béton concassé mis en décharge pourraient fixer de 30 à 50 kg de CO₂/m³ (voir figure 8). Cette donnée est-elle prise en compte dans les ACV ?

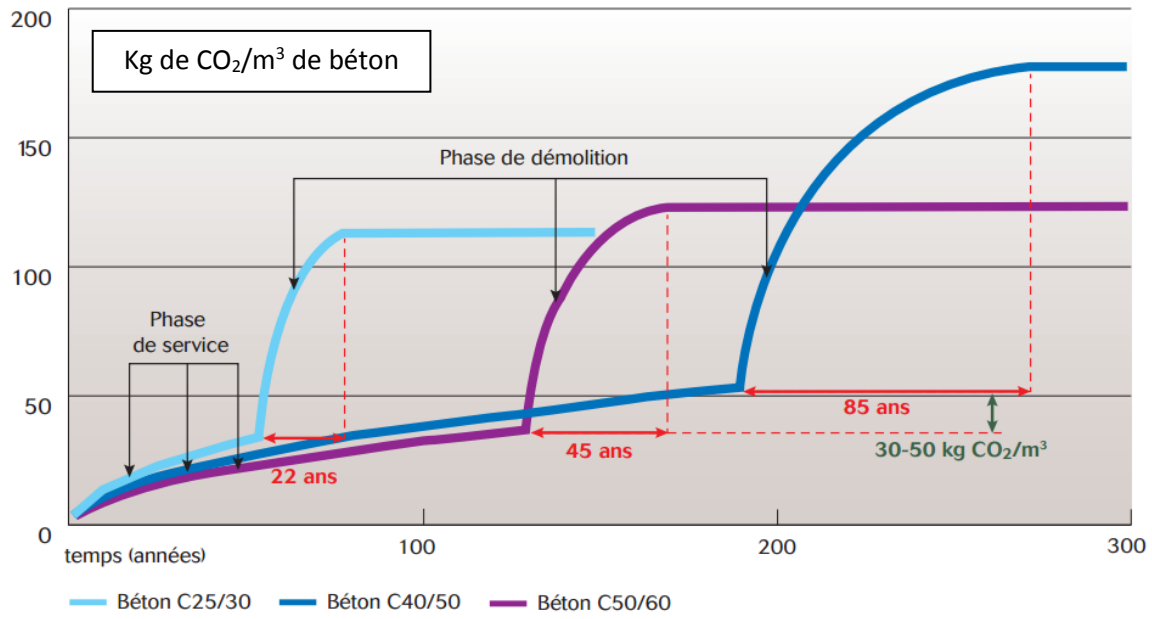


Fig 8 : Quantité de CO₂ fixé au cours des phases de service et de démolition pour 3 types de béton

Le bois : Les plantes ligneuses stockent durant leur croissance du CO₂. Cette séquestration du carbone se poursuit une fois la plante coupée et pourtant ce stockage bénéfique pour l’environnement n’est pas toujours pris en compte dans les ACV.

Comment expliquer cette aberration, sinon par le fait d’une méconnaissance du cycle du carbone ou par la puissance de certains lobbies. Pour essayer de mieux intégrer le bois dans un écobilan, il est important de mieux comprendre son circuit, car tout le bois ne finit pas en cercueil !

Si l’on y regarde de plus près (voir figure 9), selon qu’il finisse en décharge, recyclé ou en combustible, le bilan n’est pas du tout le même !

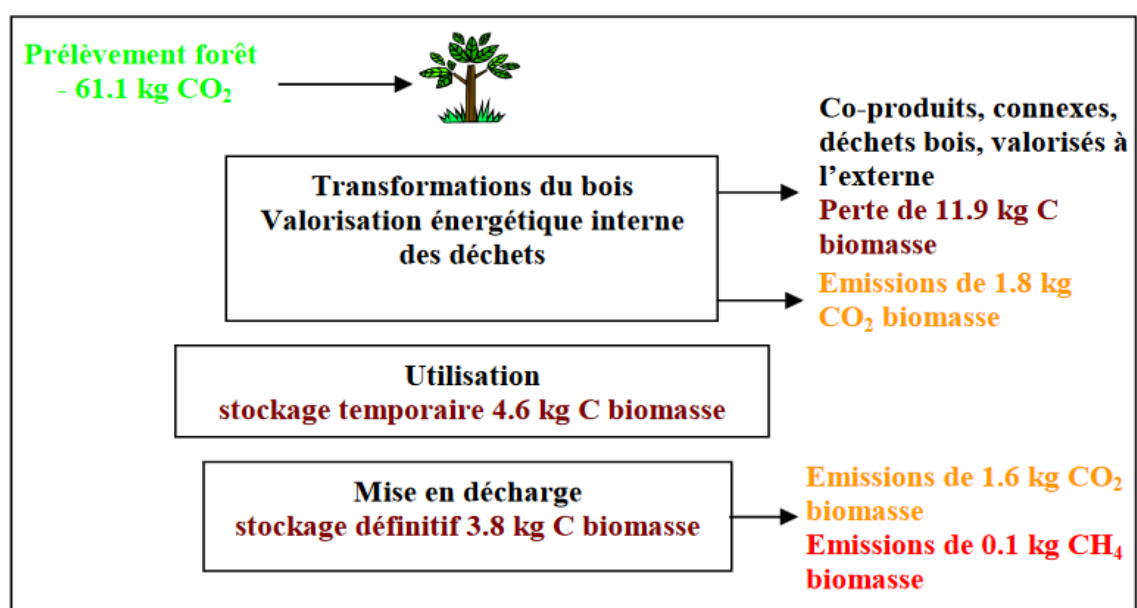


Fig 9 : Cycle de vie du bois (Source FCBA)

Lorsque sa vie dans le bâtiment s'achève, le bois peut, soit être réutilisé par exemple pour la fabrication de panneaux d'ameublement (*il préserve alors son stock de carbone*), soit être brûlé (*il relâche alors son stock de carbone sous forme de CO₂*), soit encore être mis en décharge (*il relâche alors lentement du CO₂ par décomposition aérobie et/ou du méthane par décomposition anaérobie*).

Selon l'Institut technologique FCBA, dans le scénario de mise en décharge, la dégradation du bois est lente et incomplète et le taux de dégradation à 100 ans peut être estimé à 15% du stock initial.

Il est rare de trouver des bases de données faisant état de la séquestration du carbone par les produits d'origine végétale car ce stockage n'a pas fait l'objet d'un consensus au niveau de la communauté scientifique. L'impact environnemental des produits d'origine végétale reste donc pour le moins très anarchique dans les différentes bases de données.



1 m³ de bois absorbe 1,1 t. de CO₂ ou 500 kg de carbone par tonne de bois sec, et le retient prisonnier pendant toute sa durée de vie.

Une maison ossature bois de 100 m² stocke dans son ossature et sa charpente environ 15 tonnes de CO₂. À cela s'ajoute ce que l'on appelle l'effet de substitution. Si l'on opte pour le bois, peu gourmand sur le plan énergétique par rapport à d'autres matériaux de construction, on réduit encore les rejets dans l'environnement de 0,9 tonne de CO₂ par m³ de bois. Cela permet par exemple d'économiser une vingtaine de kg de CO₂ en choisissant une fenêtre bois plutôt qu'une fenêtre en PVC !

Grâce à la fixation du dioxyde de carbone et à l'effet de substitution, le bois réduit la teneur en CO₂ de l'atmosphère de 2 à 2.5 tonnes par m³.

La productivité forestière augmente depuis 25 ans au rythme de 1% par an. La production globale de la forêt française est aujourd'hui supérieure de 40% à ce qu'elle était en 1980.

- **Les émissions des immobilisations :** Des bâtiments, des machines, des véhicules ou encore du matériel informatique ont été nécessaires pour fabriquer nos matériaux de construction. Les immobilisations, qu'elles soient immobilières ou matérielles ont nécessité des dépenses énergétiques directes et indirectes et ont généré des émissions de GES. Ces émissions doivent être amorties sur la durée d'exploitation ou sur la durée d'utilisation. Le plus souvent c'est la durée d'amortissement comptable qui est utilisée soit 100 ans pour les bâtiments.

6. Tout le monde ne peut pas devenir centenaire

Toutes nos bâtisses ne sont pas des cathédrales capables de défier le temps. Pourtant la France est riche d'anciennes demeures qui ont traversé les siècles comme cette maison médiévale de Dinan construite en 1480 !



15

Il est vrai que les constructions récentes ne rivaliseront surement pas avec les chefs d'œuvre du Moyen Age mais elles ont malgré tout besoin qu'on leur attribue une **DVT** (*Durée de vie typique*).

Plusieurs définitions sont utilisées pour cette durée de vie. La base de données INIES définit la DVT comme une estimation de la durée de vie faite par le fabricant à partir de valeurs d'usage et le bilan Carbone® comme la durée d'amortissement comptable.

La durée de vie réelle dépend beaucoup plus de l'utilisation et de l'entretien du bâtiment et des modalités de gestion du patrimoine déterminées par le maître d'ouvrage que d'une durabilité physique estimée. L'habitat participatif ayant une finalité plus humaine, sa durée de vie devrait être supérieure aux programmes immobiliers à finalité lucratives à court terme !

De manière générale, la durée d'évaluation utilisée pour un bâtiment est de 60 ans mais on trouve des ACV à 50, 80 ou 100 ans.

Avant d'étudier le problème du choix de la DVT des matériaux, penchons-nous juste sur l'élément de communication le plus repris et le plus parlant, la répartition entre **énergie d'usage** (consommée durant la vie en œuvre pour satisfaire les besoins de chauffage, d'ECS, ou de fonctionnement des auxiliaires) et **énergie grise** (cachée dans les matériaux ayant servi à la construction). Comme on peut le voir sur la figure 10 l'évolution de cette répartition est fortement corrélée à l'évolution du confort thermique.

Ce choix est d'une grande importance car selon la DVT des matériaux utilisés, le nombre de renouvellement et/ou d'entretien à prendre en compte sera différent et le bilan pourra donc être faussé par ce choix.

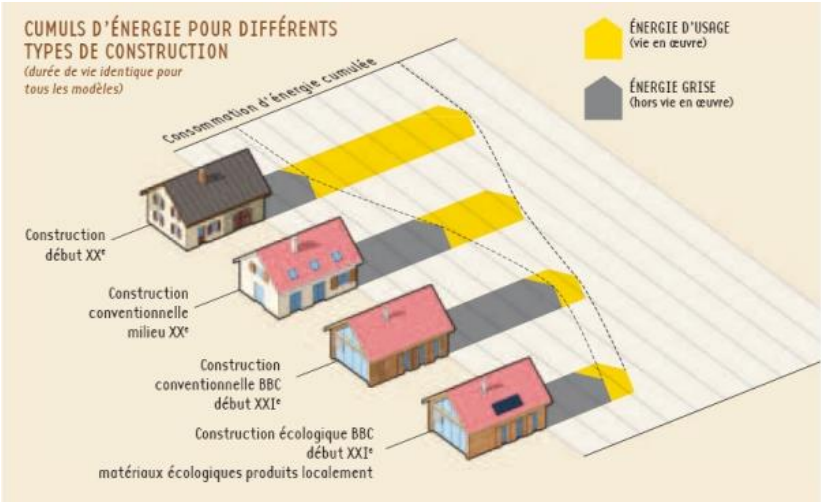


Fig 10 : Évolution de la proportion entre énergie grise et énergie d'usage - Source : Caue Isère – Creabois.

On trouve souvent que cette répartition est de 50/50 pour les maisons RT 2012 sur une DVT de 100 ans. Comme le montre la figure 11, si nous prenons une DVT de 50 ans, la part de l'énergie grise passe à 66%. Ce tour de passe-passe peut être également inversé et cela peut ou non favoriser des politiques visant à prendre mieux en compte cette énergie grise !

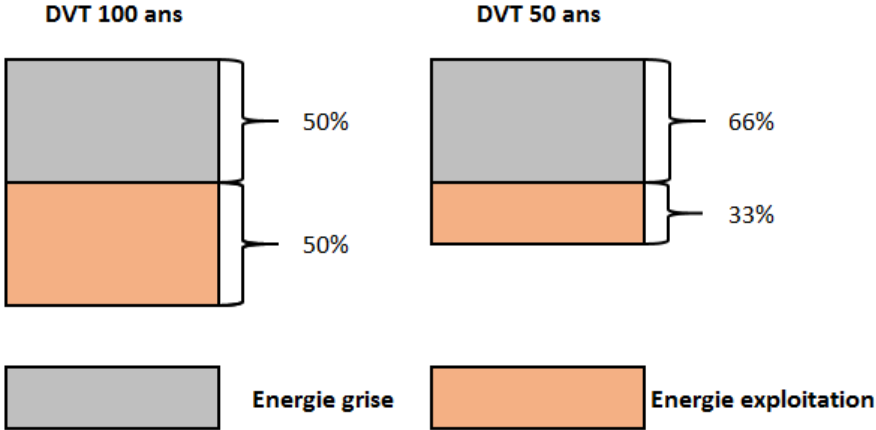


Fig 11 : Répercussion du choix de la DVT du bâtiment sur la quote-part de l'énergie grise

De surcroît, le choix de la DVT du bâtiment va avoir des répercussions directes sur le calcul même de l'énergie grise car celui-ci doit tenir compte de l'intervalle d'entretien et de l'intervalle de renouvellement des matériaux ou des équipements si ceux-ci ont une DVT inférieure à celle du bâtiment.

En prenant deux exemples sur les DVT issues des FDES (voir figure 12) les résultats vont être différents.

Lot	Matériaux	Durée de vie typique, DVT
Structure	Terre cuite : brique	150 ans
	Zinc : couverture	100 ans
	Bloc béton aggloméré	100 ans
	Bois en lamellé-collé	100 ans
	Charpente en bois de type chêne et résineux	100 ans
	Parpaing avec isolant intégré	50 ans
	Résine de scellement (-> fer à béton)	50 ans
Façade	Terre cuite : carreaux, brise-soleil	100 ans
	Fibres-ciment en panneaux	60 ans
	Acier : simple peau, plateau de bardage	50 ans
	Mortier enduit minéral	50 ans
Menuiseries extérieures	Aluminium, PVC ou bois	30 ans

Fig12 : Exemples de durées de vie typique, issues des FDES

La DVT des matériaux de structure est généralement de 100 ans et celle des menuiseries de 30 ans. Si nous faisons une ACV bâtiment sur 60 ans ou 100 ans nous prendrons la même valeur pour les éléments de structure et 2 ou 3 renouvellements pour les menuiseries. Le nombre de cycles de réparation et/ou de remplacement nécessaires et la quantité de matières utilisées et de déchets produits lors de ces opérations peut donc modifier considérablement le résultat final.



Selon une étude néo-zélando-suisse (ALTHAUS H.-J., KELLENBERGER D., 2008), une valeur de 80 ans semble un bon compromis pour simplifier la prise en compte des éléments de construction dans l'analyse de cycle de vie. Actuellement, il n'existe pas de norme imposant une méthode de calcul de la durée de vie des matériaux et il faut donc prendre les données fournies par les fabricants.

Selon l'ICEB (Institut pour la Conception Écoresponsable du Bâti), une maison moyenne de 120 m² d'une durée de vie de 80 ans contient une énergie grise de 200 000 à 420 000 kWh ce qui correspond à sa consommation de chauffage pour une période de 30 à 50 ans. Ces chiffres sont à prendre avec précaution car les définitions données à l'énergie grise divergent selon les sources comme nous allons le voir plus tard.

7. De l'unité fonctionnelle à l'expression des résultats

L'unité fonctionnelle (**UF**) consiste à définir la fonction que doit assurer notre bien ou notre matériau sur sa DVT. Elle permet de faire des comparaisons à service rendu identique. Par exemple pour un isolant celle d'assurer une résistance thermique de $5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ pendant 50 ans, pour de la peinture couvrir 1 m^2 de mur pendant 5 ans ou pour un bâtiment d'assurer la fonction d'habitation pendant une durée de vie de 100 ans, avec une consommation d'énergie $< 65 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$ si située en zone climatique H1b.

L'unité fonctionnelle, définie pour la durée de vie typique du produit ou par an, dépend du service rendu par le produit étudié et comprend l'ensemble des constituants du produit y compris les emballages.

Si l'on regarde de plus près la base INIES, il est étonnant de constater, que le choix de l'UF est laissé au bon vouloir de l'entreprise. L'hétérogénéité de cette base peut entraîner un certain nombre d'erreurs de saisies et de calculs.

Prenons encore une fois quelques exemples pour mieux comprendre. Pour le commun des mortels, une poutre a une vocation structurelle, le plus souvent de soutenir un plancher entre étages. Si l'on se réfère à la base INIES (voir tableau ci-dessous) on peut constater qu'il y a poutre et poutre.

Référence FDES	UF	Changement climatique	Energie procédé
Unités	DVT de 100 ans	Kg eq. CO ₂	MJ
Toute Poutre en béton BAP de section 20 x 35 cm mise en oeuvre selon les règles de l'art	1 ml de poutre de section 20 x 35 cm apte à supporter les charges et autres éléments de planchers pendant une annuité.	27,9	229
Toute Poutre en béton XF1 C25/30 CEM II de 20 x 35 cm réalisée selon les règles de l'art	Supporter les charges et autres éléments de planchers sur un 1 ml pendant une annuité	19,5	179
Poutrelles armées en béton utilisées principalement en maison individuelle pour la réalisation de planchers à poutrelles et entrevous	Supporter les charges autres éléments de plancher ou de toiture sur 1 ml pendant une annuité	3,36	47,9
Poutre en bois lamellé collé fabriquée en France	Supporter des éléments de plancher ou de toiture durant une annuité. Flux de référence associé 1 m³	84,5	6210
Poutre en bois de Douglas lamellé collé hors aubier certifier PEFC	Supporter des éléments de plancher ou de toiture durant une annuité. Flux de référence associé 1 m³	-483	5000

Sur ces 5 exemples, **seule la poutre en bois fabriquée en France a fait l'objet d'une vérification**. On peut constater que le stockage du carbone par le bois n'est pris en compte que pour le bois bénéficiant de la certification PEFC qui promeut la gestion durable des forêts. On remarque également, que l'énergie procédé (*qui comprend également de l'énergie renouvelable dans cette base*) entre les différentes poutres béton varie avec un facteur de 4.8 et les émissions en eq CO₂ avec un facteur de 8.3 (**ce qui est énorme !**). En plus, comme l'unité fonctionnelle est exprimée de façon différente (*le m³ pour le bois et le m linéaire pour le béton*), il est difficile de faire des comparaisons entre ces 2 types de matériaux.

Képhi-Bât qui travaille avec la base KBOB trouve pour une poutrelle béton standard 20 kg eq CO₂ et 126 MJ par mètre linéaire pour l'énergie procédé non renouvelable et -600 kg eq CO₂ et 5400 MJ par m³ de BLC (*bois lamellé collé*)

Les données de la base INIES sont rarement vérifiées par une tierce partie indépendante, et la liste des produits complémentaires nécessaires à la mise en œuvre du produit (*par exemple systèmes de fixation comme les vis, colles...*) pas toujours pris en compte. Il est donc préférable d'utiliser une base de données plus cohérentes et plus transparentes comme celle de KBOB qui exprime les résultats sous forme homogène et facilement utilisable en kg de matière (voir en annexe 2 un extrait de la base Képhi-Bât provenant en grande partie de KBOB).

8. Comment ne pas être grisé par l'énergie

Pour compliquer un peu plus notre ACV, la définition prise en compte pour l'énergie grise, n'est pas la même selon les bases de données car on peut en distinguer 2 types principaux :

- **L'énergie procédé** : celle qui est consommée par les procédés (transformation, transport, chauffage, ...)
- **L'énergie matière** ou « feedstock » : celle contenue dans la matière et qui correspond à son pouvoir calorifique.

Ces énergies, qu'elles soient matière ou procédé, peuvent être soit d'origine renouvelable, soit d'origine non renouvelable :

- **L'énergie renouvelable** provient de ressources renouvelables comme le soleil, le vent ou la biomasse
- **L'énergie non renouvelable** provient des ressources fossiles comme le pétrole, le gaz, le charbon ou encore l'uranium.

L'énergie matière peut donc être à la fois renouvelable comme le bois et non renouvelable comme les matériaux d'origine pétrolière (plastiques). Il en est de même pour l'énergie procédé comme on peut le voir sur la figure 13.

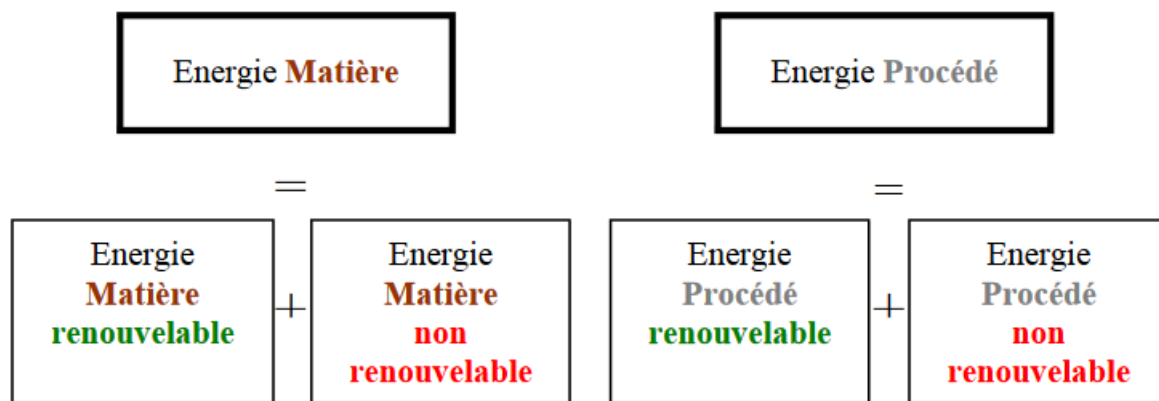


Fig 13 : Les différentes formes d'énergie pouvant être prises en compte dans une ACV

La base de données INIES ne fait pas de mention de l'énergie grise, et il n'est pas possible de connaître la part de l'énergie non renouvelable dans l'énergie procédé qui correspond à la définition la plus utilisée pour l'énergie grise.

Il est intéressant de voir dans le tableau ci-dessous comment les deux principales bases de données pour le bâtiment, la base française INIES et la base suisse KBOB comptabilisent l'énergie.

	Base INIES	Base KBOB
Définition de l'énergie grise	Energie matière + procédé non renouvelable et renouvelable	Energie procédé non renouvelable
Vérification de la base	Vérification partielle des auto-déclarations individuelles ou collectives	Vérifié (protocole Ecoinvent)
Présentation résultats	Par unité fonctionnelle	Par composant de base
Périmètre pris en compte	L'ensemble du cycle de vie (y compris la vie en œuvre)	La fabrication et la fin de vie
Durée de vie	La DVT donnée par le fabricant (Généralement de 30 à 100 ans)	La durée d'amortissement
Mix énergétique	France	Suisse

D'un point de vue environnemental, la base KBOB utilisée par **Kephir-Environnement** a plus de sens car elle n'utilise que la part de l'énergie « procédé » non renouvelable (**facteur NRE**) qui est définitivement perdue et ne tient pas compte de l'énergie matière dont le contenu énergétique peut être valorisé en fin de vie.

L'énergie primaire utilisée par INIES, qui est égale à l'addition de l'énergie non renouvelable et de l'énergie renouvelable, qu'elle soit matière ou procédé ne constitue pas un bon indicateur environnemental.

Quelles que soient les bases de données utilisées et les définitions prises pour l'énergie, les différentes études montrent qu'une réhabilitation est nettement moins consommatrice en énergie grise qu'une construction neuve et il est donc préférable de chercher des solutions innovantes dans ce domaine.

9. L'effet de serre a de quoi nous réchauffer les neurones

21



A l'instar de l'énergie grise, l'expression et le calcul des émissions de carbone ont de quoi nous donner le tournis.

- **Le problème des unités** : Les anglo-saxons ont l'habitude d'exprimer les émissions en équivalent CO₂ alors que les français utilisent le plus souvent l'équivalent carbone. Le rapport entre ces 2 unités est de 44/12 soit 3.67 ce qui peut conduire à de graves erreurs.
- **La séquestration du carbone** : l'emploi du bois et des matériaux cellulosiques engendre un "puits de carbone" car le carbone a été soustrait à l'atmosphère lors de la croissance du végétal. Pour rendre cette séquestration recevable, il est nécessaire que dans le même temps d'autres végétaux remplacent ceux qui ont été coupés et donc que la culture soit gérée durablement (*norme PEFC et FSC pour les forêts*). Dans la plupart des bases de données, la séquestration n'est prise en compte

que pour des DVT de 100 ans comme pour les charpentes et 1 tonne de bois d'œuvre donne dans ce cas un crédit de 500 kg éq C (*soit environ 1.8 tonne en eq CO₂*).

- **Le phénomène de décarbonatation** : La seule approche par les dépenses énergétiques ne permet pas de prendre en compte les émissions non énergétiques de l'industrie du « béton ». En effet, la fabrication du ciment « clinker » par cuisson à 1450°C de calcaire (80%) et d'argile (20%), libère du CO₂ par décarbonatation. Cette libération de carbone dans l'atmosphère représente 60% des émissions totales de CO₂ soit environ 400 kg par tonne produite. Comme un m³ de béton contient environ 280 kg de ciment, la réduction de son utilisation aurait un impact non négligeable sur l'environnement. On estime que le ciment pourrait être responsable de 5% de émissions de GES anthropiques et la production française de ciment se situe autour de 20 à 25 Mt par an soit environ 10 Mt de CO₂.
- **L'impact du transport et du process de production** : Les matériaux locaux et biosourcés nécessitant peu de transport et de transformation ont un net avantage sur les matériaux industriels dérivés du pétrole. Le développement de leur utilisation aurait un fort impact sur les émissions carbone car selon le Président de Qualibat, Alain Maugard, la quantité de carbone nécessaire à l'élaboration d'une construction est de l'ordre de 300 à 500 Kg éq CO₂/m² pour une maison individuelle, de 300 à 600 Kg éq CO₂/m² pour un petit collectif et de 500 à 800 Kg CO₂/m² pour des bureaux.

Pour toutes ces raisons on constate une forte variabilité dans les données comme on peut le voir en annexe 3

10. Une tuile n'arrive jamais seule

Vu le nombre de paramètres à prendre en compte pour simplifier la compréhension d'une ACV nous prendrons l'exemple d'une simple tuile car la tuile de terre cuite a accompagné la vie des hommes depuis des millénaires pour les protéger des intempéries, et a su s'adapter au fil du temps pour répondre aux multiples exigences de la construction. Cette vieille dame fabriquée à la main et cuite au feu de bois par nos ancêtres, a su en 1841, grâce à l'invention du four à cuisson continue d'Hoffmann et à l'intelligence des frères Gilardoni, devenir la tuile mécanique à emboîtement que nous connaissons. Cette révolution alsacienne a permis la fabrication en série et, par là même, la diminution des coûts de fabrication mais cela en engendrant quelques impacts sur notre environnement.

Cette tuile, plutôt canal au sud de la Loire et plutôt plate au nord de ce beau fleuve, passe avant de nous protéger par quelques étapes qui vont définir le cadre de notre ACV.

Pour comprendre la vie de cet incontournable, nous sommes obligés de partir de l'extraction de l'argile pour finir soit à la décharge soit comme remblai pour nos chemins. Pour nous protéger des intempéries cette tuile aura donc consommé de l'énergie, renouvelable ou non.

De l'énergie non renouvelable, si des excavatrices sont utilisées pour extraire l'argile ou renouvelable, si des travailleurs corvéables extraient cette matière première à la pelle et à la sueur de leur front. De l'énergie également pour sa cuisson entre 900 et 1200° et son transport vers le chantier.

Ces différentes opérations auront consommé environ 1.8 MJ/m²/an (*soit 50 kWh sur la durée de vie estimée à 100 ans de cette petite tuile*). Cette énergie « cachée » dans le produit est nommée énergie grise car il a fallu beaucoup de matière de la même couleur pour effectuer les calculs.

En matière d'impact sur l'environnement notre tuile a également envoyé indirectement dans l'atmosphère environ 17 kg de CO₂ par m² soit un peu plus que la tuile béton ou l'ardoise (11 kg de CO₂/m²) mais nettement moins que le fibro-ciment (38 kg de CO₂/m²) ou la toiture en zinc (62 kg de CO₂/m²).

11. Le mix énergétique comme nouvelle source de tracas

La très importante quantité d'électricité utilisée dans certain procédé de production conduit à une dispersion très forte des résultats, selon le pays, en raison de la diversité des mix énergétiques. La France avec une production basée au ¾ sur le nucléaire est avantagée avec un contenu CO₂ du kWh électrique moyen environ 5 fois inférieur à celui de nos voisins européens (voir tableau ci-dessous).

(ordres de grandeur)	unités	France		Europe (UE 27)	
Emissions de CO ₂ du système électrique	Mt	30	Soit 75 gCO ₂ /kWh en moyenne	1000	Soit 370 gCO ₂ /kWh en moyenne
Production d'électricité	TWh	500		3200	
Consommation finale d'électricité	TWh	400		2700	

Le contenu en CO₂ du kWh électrique (Source ADEME-RTE 2007)

L'évaluation de l'impact des consommations d'électricité dans le bilan d'émissions de GES est calculée sur la base des facteurs d'émission des usages (*chauffage, éclairage, usage intermittent*) et en fonction du contenu carbone du kWh du fournisseur spécifique d'électricité d'où de très grandes disparités dans les résultats (voir tableau 14).

		Type d'énergie	France RT	France Effinergie	France Bilan carbone	Suisse Minergie	Europe Passif	Kbob / Kephipro	Europe
Energie en UC/kWh		Unité conventionnelle (UC)	kWh _{ep}	kWh _{ep}		kWh _{ep}	kWh _{ep} NR*	kWh _{ep} NR	kWh _{ep}
		Électrique	2,58	2,58		2	2,6	3,5	2,7
		Gaz	1	1		1	1,11	1,11	1,1
		Fioul	1	1		1	1,23	1,23	1,1
		Bois	1	0,6		0,7	0,052	0,052	
		Photovoltaïque	2,58	2,58		2	0,7	0,314	
Effet de serre en kg eq CO ₂ / kWh	Électrique	Chauffage	0,18	0,18	0,085	0,026	0,68	0,18	0,278
		Eclairage	0,1	0,1				0,1	
		Usages intermitants	0,06	0,06				0,06	
		Moyenne tous usages	0,075	0,075				0,075	
	Autres énergies	Bois	0,013	0,013			0,05	0,013	
		Gaz naturel	0,237	0,237			0,25	0,237	
		Fioul	0,3	0,3			0,31	0,3	
		Photovoltaïque	/	/			0,25	0,08	

kWh_{ep} NR = kWh d'énergie primaire non renouvelable

Tab 14 : Les principales données utilisées par standard pour l'énergie primaire et les émissions de CO₂

L'électricité est l'énergie la plus utilisée en France (environ 42% des consommations totales). Mais c'est aussi l'énergie qui nécessite le plus de transformation et dont le rendement est le plus faible.

La France base ses calculs sur les données suivantes (voir tableau 15) pour son coefficient en énergie primaire, ce qui signifie **qu'1 kWh Ef = 2,58 kWh Ep**.

Type d'énergie	Rendement	Part de la production
Nucléaire	33%	75%
Energies renouvelables	100%	15%
Energies fossiles	38%	10%
Mix énergétique	44%	Coef en énergie primaire
Pertes du réseau	5%	
Rendement global	38,8%	2,58

Tab 15 : Mix énergétique et rendements pris en compte pour le calcul du coefficient en énergie primaire

Ce coefficient de conversion est un coefficient réglementaire largement sous-évalué en France car les rendements du nucléaire sont surestimés et les pertes du réseau et des transformateurs sous-estimés (les pertes augmentent en basse tension ce qui donne des pertes en ligne de 8% environ).

Les différents experts proposent des valeurs de conversion comprises entre 3.2 et 3.5 et le Ministère du Logement utilise la valeur de **3,23** pour ses calculs en interne (source : Enertech). Le coefficient réglementaire de 2.58 tend à moins pénaliser le recours à l'électricité comme source d'énergie finale !

Les bilans énergétiques sont complexes (voir annexe 4) et présentent un certain caractère artificiel car ils mélangent électricité et énergie thermique ce qui tient un peu du mariage "de la carpe et du lapin" !

Le vecteur de conversion en énergie primaire a de lourdes conséquences sur les résultats. C'est pourquoi **Kephir-Environnement** utilise un vecteur de **3.5** calculé sur un mix énergétique et des rendements plus réalistes (voir tableau 16).

Mix énergétique		
Type d'énergie	Rendement	Part de la production
Nucléaire	26%	75%
En renouvelables	100%	13%
Energies fossiles	34%	12%
Mix énergétique	37%	Cep
Pertes réseau	8%	
Rendement global	29%	3,50

Tab 16 : Mix énergétique et rendements pris en compte par Kephipro

L'énergie primaire nécessaire pour obtenir une unité d'énergie finale qui représente donc le rendement énergétique d'un process de production d'électricité (voir figure 17) provient de la base KBOB / EPMA qui établit des ratios entre renouvelable et non renouvelable (voir Annexe 6 pour les détails)

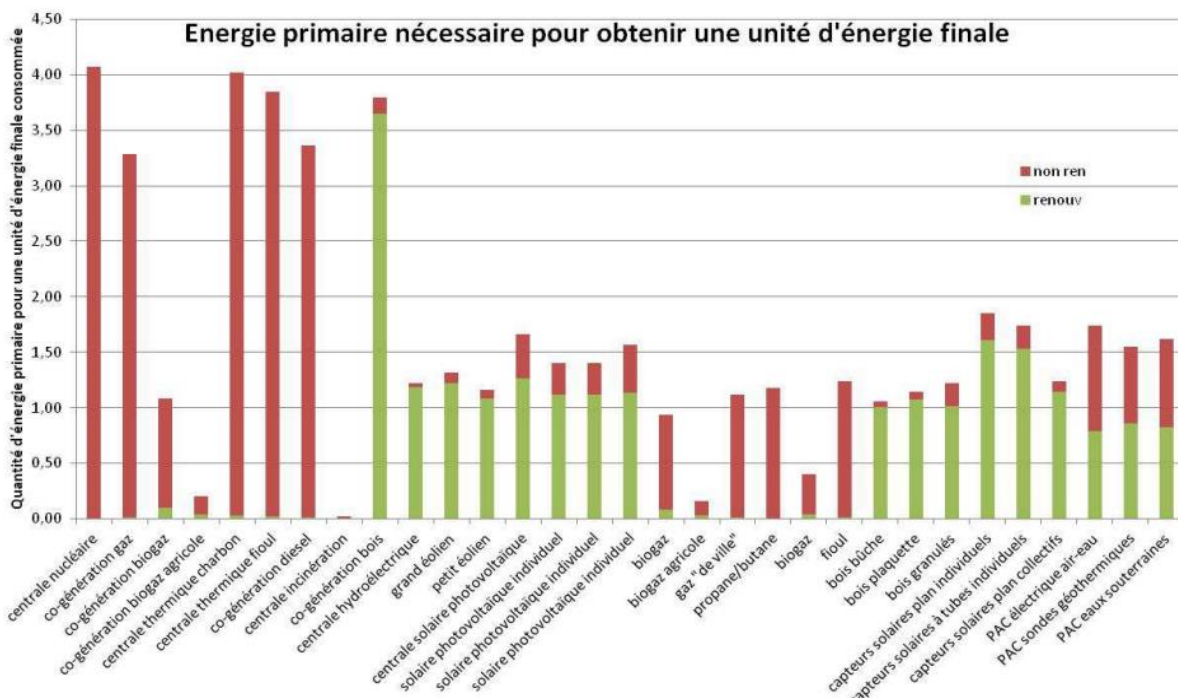


Fig 17 : Vecteurs d'énergie primaire des systèmes de production d'électricité (Ökobilanzdaten im Baubereich)

RQ : les coefficients inférieurs à 1 s'expliquent car lorsque la ressource est considérée comme un déchet ménager ou agricole on ne compte pas son contenu énergétique (**PCI**) et on ne compte que l'énergie grise, c'est-à-dire celle utilisée pour la transformation et la mise à disposition de l'énergie.

12. Les banques de données ressemblent à Fort Knox



26

Selon les bases de données et le logiciel utilisés, l'écobilan d'un bâtiment sera d'une part plus ou moins facile et d'autre part plus ou moins réaliste.

- **Etendue et représentativité de la base :**

Plus ou moins facile car certaines bases de données ne proposent que des données sur les matériaux alors que d'autres mêlent à la fois produits génériques et matériaux de construction. Par exemple, la base de données KBOB fournit des données sur des produits génériques, alors que la base INIES fournit des données sur des produits assemblés à partir de produits génériques.

Il est plus facile d'utiliser une base de données à double typologie (*données matériaux, produits génériques*) et l'éventail des produits génériques étant infini, il est plus avantageux de les reconstituer à partir de leurs composants.

- **Périmètre :**

Comme nous l'avons vu, les calculs d'énergie grise ne comptabilisent pas nécessairement toutes les phases du cycle de vie d'un produit. La base INIES effectue le calcul sur tout le cycle de vie alors que la base KBOB s'arrête à la porte de l'usine de fabrication mais permet, si on le souhaite, d'intégrer ou non la phase de démolition (voir en annexe 7 et 8 des exemples pour les isolants)

- **Fiabilité :**

Pour KBOB / Ecoinvent les résultats sont vérifiés par des experts indépendants et les écobilans qui en résultent sont les plus reconnus pour leur fiabilité, leur transparence et leur étendue (*plus de 4000 produits dans plusieurs domaines*). La base INIES quant à elle présente les résultats issus des données fabricants, qui ne sont que rarement vérifiés d'où une forte hétérogénéité.

Les écarts types entre des logiciels utilisant des bases de données différentes peuvent donc être importants.

Les données de l'Empa / Ecoinvent sont publiées par KBOB / Eco-bau / IPB et utilisées par Képhi-Bât (voir un exemple sur 2 parois en annexe 10).

13. Des boîtes plus ou moins noires pour faire les calculs

Les outils d'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments, utilisables à différentes phases d'un projet sont peu nombreux et répondent chacun à des logiques très différentes comme le montre le tableau 18 qui compare 5 des logiciels les plus utilisés : ELODIE ; EQUER ; SIMAPRO ; e-LICCO et Képhi-Eco.

Logiciel	Elodie	Equer	Simapro	e-LICCO	Képhi-Eco
Développeur	CSTB	Izuba et Mines de Paris	Simapro	Cycleco	Kéhipro
Base de données	Inies ou par défaut CSTB	Ecoinvent	Ecoinvent	Ecoinvent	KBOB/Ecoinvent + données fabricants
Méthodologie	« from cradle to grave »	« from cradle to gate »	« from cradle to grave »	« from cradle to gate »	« from cradle to gate »
Type d'outil	ACV - non chaîné	ACV chaîné à PLEIADES-COMFIE	ACV - non chaîné	ACV - non chaîné	Complet thermique + ACV
Coefficient conversion électricité Ep/Ef	3,13	3,2	3,77	3	3,5
Part du nucléaire pour les calculs	78%	78%	77,20%	-	75%
Pertes en lignes pour les calculs	5,80%	9%	-	-	8%
Effet de serre électricité en g/kWh Ef	115	270	100	-	180 chauffage 75 autres usages
Indicateurs pris en comptes	Les dix indicateurs environnementaux de la norme NF P01-010	Energie primaire totale en MJ + 12 autres indicateurs	Complet (référence mondiale pour les ACV) 15 indicateurs	Energie primaire non renouvelable Energie primaire totale Changement climatique	Energie primaire non renouvelable Energie primaire totale Changement climatique

Cradle to grave = du berceau à la tombe – cradle to gate ne va que jusqu'à la sortie d'usine

Tab 18 : Comparaisons de 5 logiciels d'ACV bâtiment

Parmi ces outils, on distingue différents types de chaînage ou couplage comme par exemple EQUER qui est chaîné à l'outil de simulation dynamique PLEIADES-COMFIE ou Képhi-Bât qui est un logiciel complet avec une partie ACV en complément de la partie thermique.

Selon la construction des bases de données sur lesquelles sont construites les logiciels, la description d'un bâtiment peut se faire à différentes échelles et avec différentes approches. Un bâtiment peut ainsi être décrit comme une **somme de**

matériaux (*du béton, du bois, de l'acier, du verre...*), une **somme de produits de construction** (*des briques, des enduits, des isolants, des tuiles...*), une **somme d'assemblages** (*des fenêtres, des cloisons, une charpente, une toiture...*) ou de plusieurs de ces éléments. Certaines bases de données proposent des données uniquement sur les matériaux alors que d'autres mêlent à la fois produits, assemblages et matériaux de construction.

EQUER, privilégie une description orientée matériaux, comme l'incite le choix de la base d'Ecoinvent ; ELODIE, utilise les produits de construction de la base INIES et Kephi-Bât utilisent une approche multi critères (*matériaux, produits*) et intègre les émissions carbone et l'ENR procédé des différents modes de chauffage et de refroidissement sur la vie en œuvre.

Seule l'approche multi critère permet de remédier aux lacunes de certaines bases de données.

Les outils peuvent également se classer selon deux alternatives, en termes de méthodologie :

- « **from cradle to grave** » (*du berceau à la tombe*) : l'utilisateur doit modifier les données s'il souhaite personnaliser son cas d'étude
- « **from cradle to gate** » (*du berceau à la porte*) : l'utilisateur apporte les compléments nécessaires pour son cas d'étude (*trajets jusqu'au chantier, fin de vie des matériaux...*)

Quel que soit le logiciel, il devrait permettre en tout état de cause :

- D'évaluer et d'afficher les performances des bâtiments selon une approche multicritère basée sur des indicateurs compréhensifs, représentatifs, fiables et objectifs.
- De fixer des objectifs réalistes pour l'optimisation environnementale des projets tant en neuf qu'en rénovation.
- D'Identifier les bons leviers pour pouvoir améliorer les performances sur le cycle de vie du bâtiment.
- De pouvoir justifier objectivement des investissements en fonction des contraintes réglementaires ou de celles des cahiers des charges.

En raison des choix fait par les développeurs de logiciel, les résultats sont parfois très différents d'un logiciel à l'autre. Vous pouvez voir les écarts par rapport à la moyenne, observés sur l'étude d'un même bâtiment avec 3 logiciels différents, en annexe 9.

14. Conclusion

Le secteur de la construction évolue vers une prise en compte accrue des impacts environnementaux. La communication de la Commission du 10 novembre 2010 intitulée « **Énergie 2020** » place l'efficacité énergétique au centre de la stratégie énergétique de l'Union pour 2020 et souligne le besoin d'une nouvelle stratégie en matière d'efficacité énergétique permettant à tous les États membres de dissocier la consommation énergétique de la croissance économique. En mars 2011, la Commission a également adopté une « feuille de route vers une économie compétitive à faible intensité de carbone à l'horizon 2050 ». Parmi les points essentiels de ces directives on note :

- La généralisation des constructions « passives » ou productrices d'énergie (*à l'horizon 2018 pour les bâtiments publics !*)
- L'établissement d'une démarche harmonisée sur le cycle de vie
- Une recherche d'efficacité élevée pour les matériaux.
- Un objectif de recyclage de 70% des déchets non dangereux.

Pour répondre à cette feuille de route le Gouvernement, vient d'annoncer la création d'un nouveau label appelé « **énergie-carbone** » et d'une expérimentation managée par la DHUP visant à préparer cette future réglementation environnementale. Le référentiel technique de cette expérimentation vient d'être publié et je vous invite à le [télécharger](#).

Une fois de plus, le cadre nous est imposé sans concertation, en reprenant l'architecture de la RT2012, les anciennes conventions (Th-BCE) sur les données climatiques, l'occupation et l'usage des bâtiments ce qui reflète peu la réalité. En ce qui concerne l'ACV, elle sera réalisée à partir des données de la base INIES sur une DVT de 50 ans.

Peut-on vraiment parler de bâtiments durables (*50 ans*) pour cette expérimentation dont les projets seront certifiés par l'un des 5 organismes « officiels » accrédités COFRAC ? Cette démarche répond-elle aux enjeux définis au niveau européen sachant qu'il n'y a pas aujourd'hui d'outils consensuels et harmonisés à l'échelle européenne sur les ACV ?

Les « outils d'aide à la décision » existants doivent évoluer pour devenir plus transparents, plus fiables et plus complets. En particulier les informations et les données sur la consommation des ressources naturelles, sur la recyclabilité des matériaux ou sur leur traitement en fin de vie sont disparates et peu fiables et trop souvent les déchets de démolition sont envoyés en centre d'incinération ou en centre d'enfouissement technique.

Ce label de plus n'arrive t'il pas un peu tard pour inverser l'augmentation du niveau de CO₂ dans l'atmosphère ? Selon l'Organisation Météorologique Mondiale, les tendances à long terme vont toutes dans la mauvaise direction et les concentrations de GES dans l'atmosphère continuent d'augmenter et ont dépassé le seuil symbolique des 400 ppm. En comparaison avec les niveaux de 1750, les concentrations de méthane et de CO₂ sont 2,5 et 1,5 fois supérieures.

Il est grand temps de réagir et de prendre exemple sur des démarches locales ou régionales comme préconisé par la Commission Européenne (voir extrait ci-dessous de sa communication « Énergie 2020 »).



*Un certain nombre de municipalités et d'autres organismes publics dans les États membres ont déjà mis en place des approches intégrées en matière d'économies d'énergie et d'approvisionnement énergétique, au moyen par exemple de plans d'action pour l'énergie durable, tels que ceux développés dans le cadre de l'initiative de la convention des maires, et des approches urbaines intégrées qui vont au-delà des interventions individuelles sur le plan des bâtiments ou des modes de transport. Les États membres devraient encourager les municipalités et les autres organismes publics à adopter des plans intégrés et durables en matière d'efficacité énergétique comportant des objectifs précis, à impliquer les citoyens dans leur élaboration et leur mise en œuvre et à informer ces derniers de manière adéquate sur leur contenu et sur les progrès réalisés dans la réalisation des objectifs. Ces plans peuvent mener à des économies d'énergie considérables, surtout s'ils sont mis en œuvre au moyen de systèmes de gestion de l'énergie permettant aux organismes publics concernés de mieux gérer leur consommation énergétique. **Il convient d'encourager les villes et les autres organismes publics à partager leurs expériences les plus innovantes.***

Pourquoi ne pas s'inspirer des beaux exemples à notre disposition comme :

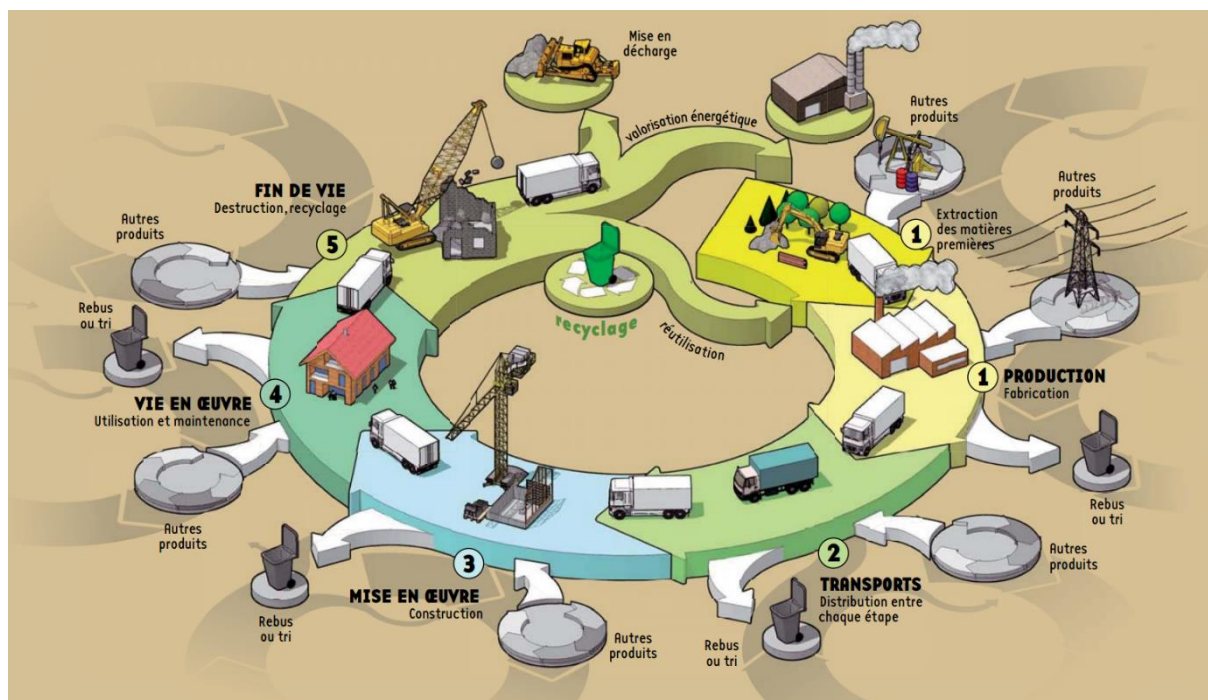
- L'élaboration de l'outil e-LICCO dans le cadre d'un appel à projets lancé par la Région Bourgogne pour évaluer l'énergie grise des bâtiments basse énergie
- La mise en place des démarches TEPos, sur de nombreux territoires de la région Rhône-Alpes témoignant d'une prise de conscience des acteurs de cette région et en particulier des CAUE vis-à-vis des enjeux liés au réchauffement climatique
- La démarche « Bâtiments Durables » proposée et développée par Envirobat-BDM qui permet de favoriser le bioclimatisme, de minimiser l'impact des matériaux, de réduire les consommations d'eau et d'énergie pour préserver le confort et la santé des occupants, tout en tenant compte des enjeux sociaux et économiques.

Le développement durable et le changement climatique sont les deux côtés de la même pièce. (Ban Ki-moon)

15. Quelques ouvrages de référence

- Analyse comparative des méthodes de calcul du contenu CO₂ de l'électricité destinée au chauffage - Etude réalisée par JB Martin consultant en ACV et coordonnée par P. Schiesser (Ecoeff) (2010)
- L'Analyse de Cycle de Vie appliquée aux produits bois : bilan énergétique et prise en compte du carbone biomasse – C. Cornillier & E. Vial - FCBA (2008)
- Bilan environnemental de solutions constructives. Evolution des impacts environnementaux selon les constructions dans l'ancien et dans le neuf - P. Schiesser (Ecoeff) & D.Loir-mongazon (Kephir-Environnement) (2012)
- Le contenu CO₂ du kWh électrique : Avantages comparés du contenu marginal et du contenu par usages sur la base de l'historique - ADEME (2007)
- Développement d'une méthodologie de fiabilisation des prises de décisions environnementales dans le cadre d'analyses de cycle de vie basées sur l'analyse et la gestion des incertitudes sur les données d'inventaires - Yann LEROY - Thèse (2009)
- Écobilan de parois - Sophie Trachte & André De Herde – Architecture et climat - UCL (2010)
- Guide BIO-TECH - L'énergie grise des matériaux et des ouvrages - ARENE Île-de-France - Dominique Sellier, ICEB : Christine Lecerf (2012)
- Introduction à l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) - ADEME (2005)
- L'isolation écologique - Jean-Pierre Oliva, Terre Vivante (2006)
- KBOB / eco-bau / IPB - Données écobilans dans la construction - Etat de janvier 2011
- Traité de bioclimatisme - D.Loir-mongazon (2016)
- Projet BeGlobal - Emmanuelle ROTA & Benoît QUEVRIN - Plate-forme Maison Passive de Namur (2012)
- Réaliser une Analyse de Cycle de Vie d'un Bâtiment neuf - Association HQE (2014)
- L'énergie grise en question – exposition réalisée par le CAUE de l'Isère (2011)
- Connaissance de l'impact environnemental des bâtiments – COIMBA (2011)
- La Performance Environnementale des Bâtiments - Hadjira Schmitt-Foudhil Chef de projet performance environnementale produits & bâtiments DHUP – QC

ANNEXES



A1 : Le cycle de vie complet correspondant à la norme NF EN 15804 sur la contribution des ouvrages de construction au développement durable. (Source : CAUE de l'Isère)

Matériaux type	Valeur λ	Valeur ρ	Valeur Cp	μ	PRG	Energie grise	Difusivité	Vitesse de transfert
	W/(m.K)	kg/m³	J/(kg.K)	-	kg CO2/m³	kWh/m³	m²/h	cm/h
ISOLANTS								
Cellulose 35kg/m3 en vrac	0,037	35	1900	2	-25	105	2,00E-03	3,24
Cellulose 55kg/m3 insufflée	0,040	55	1900	2	-34	230	1,38E-03	2,69
Cellulose en panneau	0,040	75	1900	2	-45	330	1,01E-03	2,30
Laine de chanvre en panneau	0,042	40	1800	1	-18	100	2,10E-03	3,32
Laine de chanvre en rouleau	0,040	25	1500	1	-14	90	3,84E-03	4,49
Chenevotte en vrac	0,050	110	1950	1	-88	26	8,39E-04	2,10
Laine de bois et chanvre (Isonat)	0,038	45	2100	1	-50	280	1,45E-03	2,76
Laine de chanvre et jute (Batinap)	0,042	30	2100	1	-6	250	2,40E-03	3,55
Laine de lin	0,037	25	1600	2	10	300	3,33E-03	4,18
Laine de mouton	0,042	20	1600	1	2	64	4,73E-03	4,98
Laine de mouton thermo lié	0,035	14	1600	1	3	90	5,63E-03	5,44
Liège nature (vrac)	0,045	90	1560	3	-135	18	1,14E-03	2,45
Liège expansé (granulés)	0,042	70	1560	3	-74	112	1,38E-03	2,70
Liège expansé (panneau)	0,049	120	1700	20	-170	450	8,65E-04	2,13
Laine de bois (steico therm)	0,042	150	2100	5	-81	900	4,80E-04	1,59
Laine de bois (steico flex)	0,038	50	2100	3	-81	900	1,30E-03	2,62
Laine de bois (steico top)	0,040	100	2100	5	-54	600	6,86E-04	1,90
Laine de bois (steico top 50)	0,042	135	2100	5	-70	750	5,33E-04	1,67
Laine de bois (steico sol)	0,040	150	2100	5	-81	900	4,57E-04	1,55
Laine de bois (Homatherm 55)	0,038	55	2100	3	-30	330	1,18E-03	2,50
Panneau fibre de bois (Agepan DWD)	0,049	150	2100	5	-81	900	5,60E-04	1,72

A2 : Extrait de la base de données du logiciel Kephi-Bât provenant principalement de KBOB

ENERGIE FINALE			ENERGIE PRIMAIRE					global	
type	produite par	qté (kWh _{EF})	ressource	quantité (kWh _{EP})			% EnR	qté (kWh _{EP})	% EnR
				totale	non ren	renouv			
électricité fournie par EDF	centrale nucléaire	0,74	uranium	4,07	4,07	0,00	0,0	3,56	2,4%
	centrale hydroélectrique	0,12	gravitation	1,22	0,03	1,19	97,1		
	co-génération gaz	0,06	gaz brut	3,29	3,28	0,01	0,3		
	centrale thermique charbon	0,04	charbon brut	4,02	3,99	0,03	0,7		
	centrale thermique fioul	0,01	pétrole brut	3,85	3,83	0,02	0,5		
	autres thermiques	0,00	bois, ordures ménagères	?	?	?	?		
	grand éolien	0,02	vent	1,32	0,10	1,22	92,3		
	autres EnR	0,01	biogaz...	?	?	?	?		
	solaire photovoltaïque	0,00	solaire	1,66	0,39	1,27	76,3		

A5 : Calcul complet du coefficient de conversion en énergie primaire à partir de la base KBOB

34

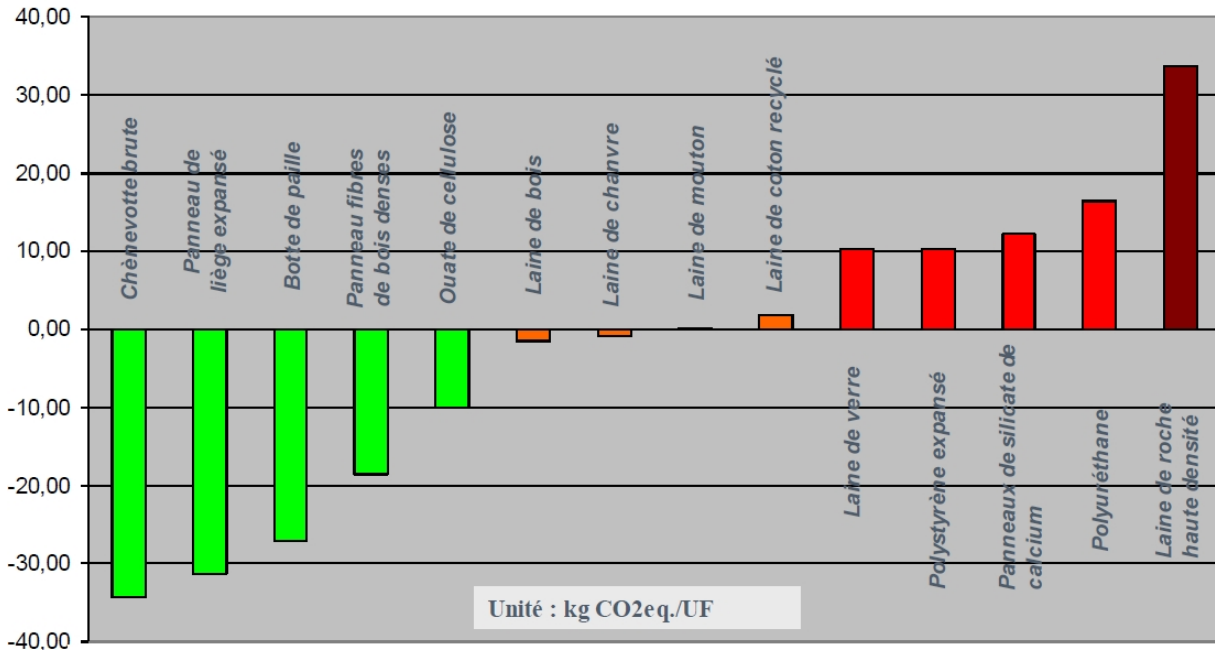
ENERGIE FINALE			ENERGIE PRIMAIRE					précision
type	produite par	qté (kWh _{EF})	ressource	quantité (kWh _{EP})			% EnR	
				totale	non ren	renouv		
électricité réseau	centrale nucléaire	1	uranium	4,07	4,07	0,00	0,0	
électricité réseau	co-génération gaz	1	gaz brut	3,29	3,28	0,01	0,3	
électricité réseau	co-génération biogaz	1	matière organique	1,08	0,98	0,10	9,0	
électricité réseau	co-génération biogaz agricole	1	matière organique agricole	0,20	0,16	0,04	18,1	
électricité réseau	centrale thermique charbon	1	charbon brut	4,02	3,99	0,03	0,7	
électricité réseau	centrale thermique fioul	1	pétrole brut	3,85	3,83	0,02	0,5	
électricité réseau	co-génération diesel	1	pétrole brut	3,36	3,35	0,01	0,3	
électricité réseau	centrale incinération	1	ordures ménagères	0,02	0,02	0,00	15,2	
électricité réseau	co-génération bois	1	bois brut	3,80	0,15	3,65	96,0	
électricité réseau	centrale hydroélectrique	1	gravitation	1,22	0,03	1,19	97,1	
électricité réseau	grand éolien	1	vent	1,32	0,10	1,22	92,3	
électricité locale	petit éolien	1	vent	1,16	0,07	1,09	93,7	
électricité réseau	centrale solaire photovoltaïque	1	solaire	1,66	0,39	1,27	76,3	
électricité locale	solaire photovoltaïque individuel	1	solaire	1,40	0,28	1,12	79,8	sur toiture inclinée
électricité locale	solaire photovoltaïque individuel	1	solaire	1,40	0,28	1,12	80,1	sur toiture plate
électricité locale	solaire photovoltaïque individuel	1	solaire	1,57	0,43	1,14	72,4	en façade
électricité locale	biogaz	1	matière organique	0,94	0,86	0,08	8,5	
électricité locale	biogaz agricole	1	matière organique agricole	0,16	0,13	0,03	18,5	
combustible	gaz "de ville"	1	gaz brut	1,12	1,11	0,01	0,9	
combustible	propane/butane	1	gaz brut	1,18	1,18	0,00	0,0	
combustible	biogaz	1	biomasse déchet	0,40	0,37	0,03	8,4	
combustible	fioul	1	pétrole brut	1,24	1,23	0,01	0,8	
combustible	bois bûche	1	bois brut	1,06	0,05	1,01	95,1	
combustible	bois plaquette	1	bois brut	1,14	0,06	1,08	94,4	
combustible	bois granulés	1	bois brut	1,22	0,21	1,01	82,8	
chaleur locale	capteurs solaires plan individuels	1	rayonnement solaire	1,85	0,24	1,61	87,0	
chaleur locale	capteurs solaires à tubes individuels	1	rayonnement solaire	1,74	0,20	1,53	88,3	
chaleur locale	capteurs solaires plan collectifs	1	rayonnement solaire	1,24	0,10	1,14	92,3	
chaleur locale	PAC électrique air-eau	1	géothermie	1,74	0,95	0,79	45,4	COPA 2.8
chaleur locale	PAC sondes géothermiques	1	géothermie	1,55	0,70	0,85	55,1	COPA 3.9
chaleur locale	PAC eaux souterraines	1	géothermie	1,62	0,80	0,82	50,9	COPA 3.4

les quantités de combustibles sont en PCS

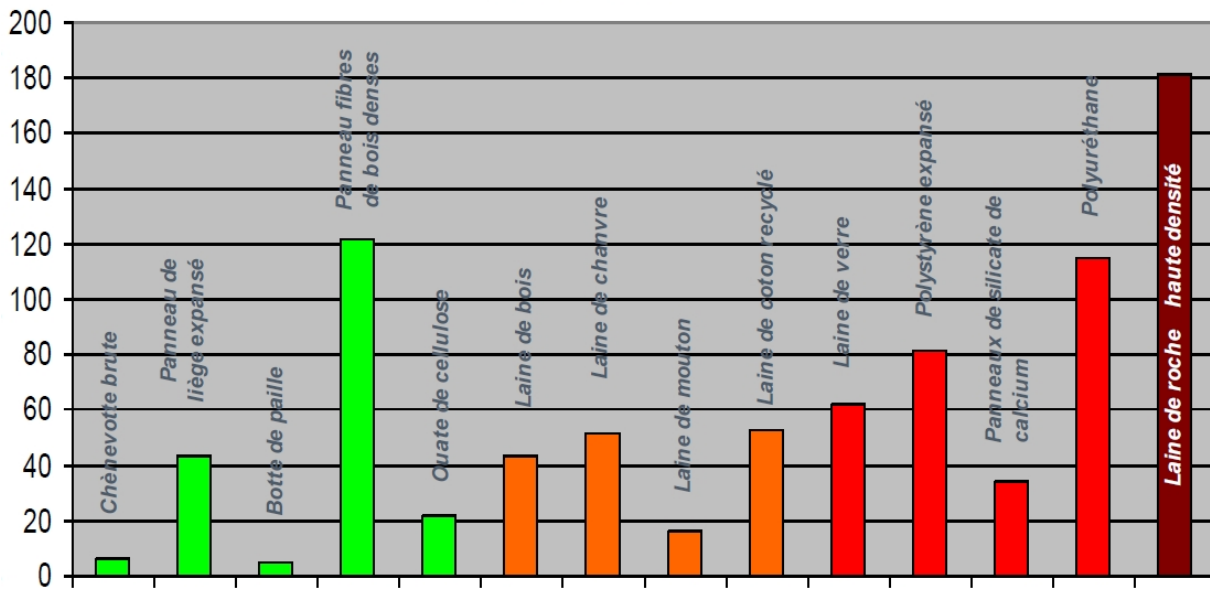
un coefficient de conversion inférieur à 1 signifie que la ressource est renouvelable ou un déchet

pour d'autres valeurs notamment concernant le chauffage urbain et la chaleur réseau, voir le document source disponible gratuitement en ligne

A6 : Extrait de la base KBOB / Empa sur l'énergie



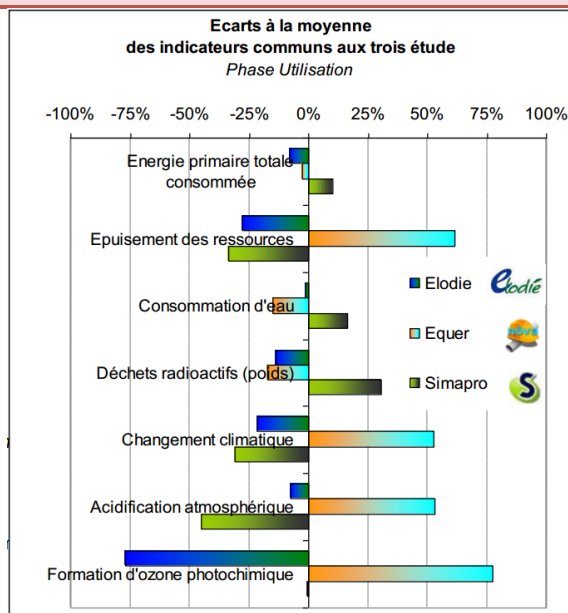
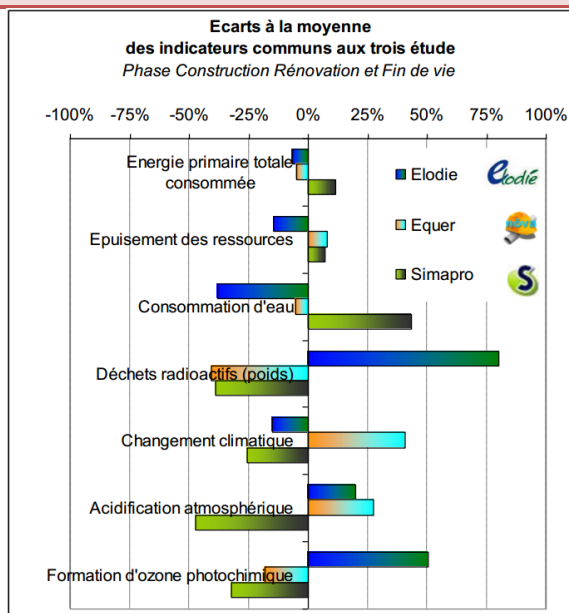
A7 : Emissions CO₂ par UF pour un R de 5 m².K/ W et une DVT de 50 ans (Source Baubook)



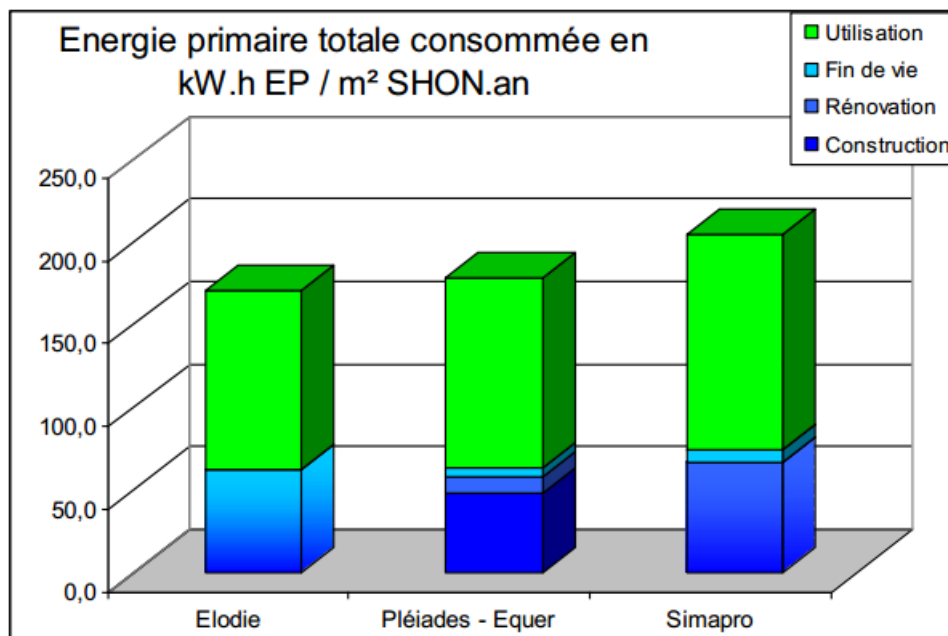
A8 : Energie grise en kWh par UF pour un R de 5 m².K/ W et une DVT de 50 ans (Source Baubook)

Bâtiment de référence : maison individuelle passive en ossature bois située dans le 69

Shab : 149 m² + 6 m² de capteurs solaires thermiques et 12 m² de capteurs photovoltaïques.



On peut constater des écarts très importants d'un logiciel à l'autre et en particulier des écarts de plus de 50% (Equer) sur le changement climatique et l'épuisement des ressources.



A9 : Comparaison de l'énergie primaire totale consommée sur une modélisation d'un bâtiment de référence (DVT = 50 ans) en phase d'utilisation et de construction à partir de 3 logiciels différents (Source COIMBA)

7	mur	environnement	bardage ou toiture ventilé	sens du flux de chaleur	horizontal						
Nr. de la paroi											
x	Mettre x pour construction	Résistance superficielle [m²K/W]	intérieure R _{si} : 0,13 extérieure R _{se} : 0,13	Description de la paroi : Blocs béton cellulaire isolé laine de bois							
Air intérieur	λ [w/(mK)]	Section 2 (optionnelle)	λ [w/(mK)]	Section 3 (optionnelle)	λ [w/(mK)]	Epaisseur [mm]					
Enduit de chaux hydraulique (if)	0,800					20					
Béton cellulaire autoclavé (BCA)	0,180	Mortier à joints minces	0,700			150					
Panneau fibre de bois (Pavatex)	0,049			Bois d'oeuvre (résineux)	0,130	220					
Air extérieur	Pourcentage de surface de la section 2		Pourcentage de surface de la section 3		Total						
		3,0%		10,0%	39,0	cm					
Valeur U:	0,200	w/(m²K)	Déphasage:	20,1	heures	Emissions carbone:	24	kg CO ₂ /m²	Energie grise:	311	kWh/m²

8	mur	environnement	bardage ou toiture ventilé	sens du flux de chaleur	horizontal						
Nr. de la paroi											
x	Mettre x pour construction	Résistance superficielle [m²K/W]	intérieure R _{si} : 0,13 extérieure R _{se} : 0,13	Description de la paroi : Blocs de terre cuite isolé XPS							
Air intérieur	λ [w/(mK)]	Section 2 (optionnelle)	λ [w/(mK)]	Section 3 (optionnelle)	λ [w/(mK)]	Epaisseur [mm]					
Enduit plâtre 1200 kg/m³	0,520					20					
Brique pleine terre cuite	0,730	Mortier minéral courant	1,300			140					
Polystyrène extrudé (XPS)	0,032			Bois d'oeuvre (résineux)	0,130	160					
Air extérieur	Pourcentage de surface de la section 2		Pourcentage de surface de la section 3		Total						
		8,0%		4,0%	32,0	cm					
Valeur U:	0,200	w/(m²K)	Déphasage:	10,4	heures	Emissions carbone:	219	kg CO ₂ /m²	Energie grise:	492	kWh/m²

A10 : Comparaison de 2 solutions constructives de même résistance thermique (Logiciel Kephi-Bât).

La deuxième solution émet environ 9 fois plus de CO₂ que la première soit une différence de près de 20 tonnes de CO₂ pour une maison de 100 m².

Sur le modèle de la boucle de l'analyse d'un cycle de vie, il paraît urgent de mettre en place des boucles économiques et de flux au niveau local.

La démarche BDM (Bâtiment Durable Méditerranéen), qui a maintenant 16 ans, est un exemple à suivre. Cet outil développé en PACA a commencé à faire des petits. L'ARENE participe à la même démarche en Île-de-France sous l'appellation "Bâtiment Durable Francilien" et une réflexion s'engage dans le Grand Est.

Le passage d'une économie linéaire (extraire, fabriquer, consommer, jeter) vers une économie circulaire, devrait permettre de concevoir des biens et services en valorisation des ressources locales pour limiter les externalités négatives tel que les pollutions liées au transport, et en créant de la richesse et des emplois non délocalisables.