

# Développement d'outils pour l'éco-conception des bâtiments passifs

Bruno Peuportier et Eric Vorger, MINES ParisTech

Le concept de bâtiment passif a été élaboré dans l'objectif d'assurer le confort des habitants tout en préservant l'environnement, mais sa définition est basée uniquement sur des seuils de besoins et de consommation d'énergie. Il est alors utile d'étudier la performance de ce concept en ce qui concerne d'autres aspects environnementaux, et de voir comment il peut s'inscrire dans une démarche plus globale d'éco-conception.

## Contexte

La recherche de bâtiments économes en énergie n'est pas nouvelle. Dès l'antiquité, certains principes bioclimatiques ont été énoncés par Vitruve. Plus proche de nous, la maison Solar 1 a été construite en 1939 au MIT pour valider les modèles de calcul. En France, les travaux de Félix Trombe dans les années 60 ont porté sur la conception de murs solaires, et des maisons ont été construites sur cette base par l'architecte Jacques Michel. La crise du pétrole des années 70 a suscité de nombreuses initiatives, stoppées dans notre pays dès les années 80 suite au contre-choc pétrolier. La politique allemande a mieux intégré le long terme, et les travaux se sont poursuivis. Le concept de maison passive est alors apparu au début des années 90, fruit d'une optimisation technico-économique.

A cette même époque, les partisans français de la conception bioclimatique se sont heurtés à l'incompréhension des décideurs politiques et des experts patentés, pour qui la problématique énergétique était dépassée et qui ont préféré lancer la démarche « haute qualité environnementale ». L'absence d'exigence de performance au début, puis le faible niveau exigé par la suite (réduction de 5% de la consommation d'énergie) ont creusé le retard de l'ensemble du secteur : la production industrielle de composants performants comme les triple vitrages et la ventilation double flux n'est apparue que récemment en France, et le manque de savoir faire de la plupart des entreprises n'a pas permis d'imposer le niveau passif d'étanchéité à l'air dans le label français BBC (Bâtiment Basse Consommation). Certains prétendent aujourd'hui que le label passif est dépassé par le concept de Bâtiment à énergie positive (BEPOS). Un bilan strictement énergétique donne en effet l'avantage au BEPOS, mais est-ce le bon critère d'évaluation ?

L'approche d'éco-conception proposée ici consiste à prendre en compte une problématique environnementale plus globale dans la démarche de conception. Il s'agit de compléter l'analyse énergétique par l'évaluation d'un ensemble d'indicateurs environnementaux. L'objectif est d'éviter de remplacer un problème, l'épuisement des ressources énergétiques, par d'autres, en particulier en termes de santé et de biodiversité. Un bilan énergétique positif peut être atteint en associant une enveloppe peu performante et une surface importante de modules photovoltaïques, mais qu'en est-il du bilan environnemental ? Un bâtiment passif consommant moins d'énergie, le même bilan peut être obtenu avec une petite surface de modules donc les impacts correspondant à la fabrication des produits de construction sont réduits. Pour comparer ces différentes solutions, il convient d'évaluer les impacts sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment, ce qui est l'objet de l'analyse de cycle de vie (ACV).

## Méthodologie

L'approche par analyse de cycle de vie consiste à étudier un produit, depuis sa fabrication, en prenant en compte ses composants et donc en remontant aux ressources puisées dans l'environnement, jusqu'à sa fin de vie, y compris le traitement des déchets créés, en passant

par toutes les étapes de son utilisation. Cette méthode a été développée d'abord dans l'industrie depuis les années 70 [Darnay, 1971], puis dans le secteur du bâtiment d'abord pour évaluer le bilan énergétique en cycle de vie [Kohler, 1986]. Une application de l'ACV énergétique [Feist, 1997] a montré l'intérêt des maisons passives par rapport au niveau réglementaire ou à d'autres concepts : maison basse énergie (pénalisée par une plus forte consommation en phase d'utilisation), maison autonome (pénalisée par l'énergie consommée en phase de construction, appelée également « énergie grise »). Plusieurs outils ont été développés pour évaluer un ensemble plus complet d'indicateurs environnementaux, par exemple LEGEP en Allemagne, ECO-QUANTUM aux Pays Bas et EQUER en France [Polster, 1995], et le projet européen REGENER a proposé les grandes lignes d'une méthodologie commune [Peuportier, 1997]. L'ACV a ainsi été appliquée aux bâtiments, en tenant compte de leurs spécificités par rapport aux produits industriels : chaque bâtiment est en général unique, et entretient des liens forts tant avec le site dans lequel il est intégré qu'avec ses occupants.

L'ACV nécessite des informations provenant des fabricants de matériaux, des producteurs d'énergie et d'eau, des entreprises de traitement des déchets etc. Mais la fabrication des produits nécessite des matières premières et de l'énergie, la production d'énergie nécessite des matériaux pour la construction des infrastructures de production. Les impacts environnementaux peuvent être évalués en résolvant un système matriciel prenant en compte cet ensemble d'interactions. Cette approche est mise en œuvre dans la base de données Ecoinvent [Frischknecht, 2007] élaborée en Suisse mais contenant des données européennes sur certains matériaux, et même des données de différents pays dont la France pour certains procédés (production d'électricité par exemple). En France, la base de données Inies [INIES, 2011] ne concerne que les produits de construction. Or le choix d'un produit influence souvent la consommation d'énergie du bâtiment où il est mis en œuvre, donc des données sur les impacts liés à la production d'énergie sont nécessaires.

Les bases de données fournissent, pour chaque produit ou procédé, un inventaire de cycle de vie indiquant les quantités des différentes substances puisées ou émises dans l'environnement (plusieurs milliers de flux dans la base Ecoinvent, environ 160 dans la base Inies). Simplifier les analyses rend l'approche plus accessible aux nombreuses PME présentes sur le marché des produits de construction, mais nécessite une validation.

Des indicateurs environnementaux sont ensuite évalués. Par exemple le potentiel de réchauffement global est défini par le groupe intergouvernemental d'experts sur le changement climatique. Cet indicateur permet d'exprimer une équivalence en CO<sub>2</sub> des différents gaz à effet de serre selon leurs propriétés optiques et leur durée de vie dans l'atmosphère.

Certains aspects environnementaux nécessitent des modèles plus sophistiqués, dont la marge d'incertitude reste importante. C'est le cas en particulier de la toxicité humaine. Un modèle élaboré au niveau européen consiste à mailler le territoire et à étudier le devenir des polluants émis dans chaque maille en intégrant le transport de ces substances entre compartiments écologiques (air, eau de surface, nappes phréatiques, sols, océans, sédiments...), leur transfert vers l'eau potable et la nourriture, les doses reçues par les populations par inhalation et ingestion, et les risques sanitaires en fonction de ces doses, exprimés en années de vie perdues ajustées par le handicap (DALY, disability adjusted life loss) [Goedkoop, 2001]. Un indicateur similaire est défini pour la biodiversité en pourcentage d'espèces disparues sur une surface de territoire et sur une certaine durée (PDF.m2.an, PDF : Potentially Disappeared Fraction) [Goedkoop, 2001]. Le tableau ci-dessous donne, à titre d'exemple, les indicateurs environnementaux considérés dans l'outil EQUER [Peuportier, 2008].

## Liste des indicateurs environnementaux considérés dans l'outil EQUER

Indicateur environnemental	Unité	Référence
Demande cumulative d'énergie	GJ	[Frischknecht, 2007]
Eau utilisée	m <sup>3</sup>	[Frischknecht, 2007]
Epuisement des ressources abiotiques	Kg antimoine eq.	[Guinee, 2001]
Déchets produits	t	[Frischknecht, 2007]
Déchets radioactifs	dm <sup>3</sup>	[Frischknecht, 2007]
Effet de serre (100 ans)	t CO <sub>2</sub> eq.	[Forster, 2007]
Acidification	kg SO <sub>2</sub> eq.	[Guinee, 2001]
Eutrophisation	kgPO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq.	[Guinee, 2001]
Domage à la biodiversité	PDF*m <sup>2</sup> .an	[Goedkoop, 2001]
Domage à la santé	DALY	[Goedkoop, 2001]
Production d'ozone photochimique	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	[Guinee, 2001]
Odeur	m <sup>3</sup> air	[Guinee, 2001]

L'indicateur d'acidification correspond à l'objectif de protection des forêts : il s'agit de diminuer le phénomène des « pluies acides ». L'indicateur d'eutrophisation est lié à production des « algues vertes », et par conséquent à la protection des rivières et des lacs. Le thème « ozone photochimique » concerne l'ozone troposphérique et ses effets sur la santé (maladies respiratoires) - la concentration en ozone étant l'un des paramètres de la qualité de l'air dans les villes. La problématique de la couche d'ozone étant gérée par le protocole de Montreal, inclure un indicateur sur ce thème semble moins utile aujourd'hui. L'indicateur « épuisement des ressources » prend en compte les réserves mondiales des matières concernées et la rapidité de leur raréfaction. La génération d'odeurs est exprimée en divisant les émissions (en mg) par les seuils respectifs (en mg/m<sup>3</sup>) à partir desquels les substances peuvent être détectées par 50% d'un échantillon représentatif de la population. L'indicateur est alors exprimé en m<sup>3</sup> d'air vicié.

Les inventaires de cycle de vie et les indicateurs d'impact sont rapportés à une « unité fonctionnelle » définie par une quantité (par exemple 1 m<sup>2</sup>), une fonction (par exemple l'isolation thermique d'une façade), la qualité de la fonction (par exemple la résistance thermique de l'isolant, ses propriétés acoustiques, etc.) et une durée (par exemple 30 ans).

Ces différentes données permettent alors d'appliquer l'ACV à des systèmes plus complexes, en particulier les bâtiments. Mais les impacts d'un bâtiment ne sont pas la simple addition des impacts de ses composants. En effet, il existe des interactions entre composants : par exemple le rayonnement solaire transmis par un vitrage est partiellement stocké dans l'enveloppe et, selon le système de chauffage et sa régulation, induit une diminution de la consommation de chauffage et des impacts correspondants. L'importance des aspects énergétiques dans le bilan environnemental justifie l'association de l'ACV et de la simulation thermique dynamique, qui permet d'autre part d'évaluer le niveau de confort du bâtiment étudié.

L'objectif durant la phase de conception est en général de respecter le programme défini par le maître d'ouvrage - le bâtiment doit abriter un certain nombre d'activités pour lesquelles il est prévu, avec un certain niveau de confort, de qualité de la vie etc.-, tout en réduisant les impacts environnementaux externes et les coûts. L'objet d'étude, l'unité fonctionnelle au sens de l'analyse de cycle de vie, est alors un bâtiment répondant à ces exigences et considéré sur une certaine durée.

Pour effectuer l'analyse, il faut cependant modéliser un système plus large, variable en fonction des objectifs de l'étude. Si l'objectif est de comparer différents sites pour une construction, il convient d'inclure les transports induits (par exemple domicile-travail), la gestion des déchets ménagers, les réseaux d'énergie (électricité, gaz, éventuellement chaleur...) et d'eau. Si l'étude se restreint à l'enveloppe et aux équipements du bâtiment, le transport des personnes peut être exclu du système si toutes les variantes comparées sont

équivalentes de ce point de vue.

Le modèle EQUER est basé sur la simulation du cycle de vie. Les impacts environnementaux sont évalués sur une certaine durée d'analyse, par exemple 80 ans, par pas de temps d'un an. Ils incluent la fabrication, le transport, le remplacement des composants en fonction de leur durée de vie, la fin de vie et le recyclage éventuel, ainsi que les procédés liés à la phase d'utilisation du bâtiment (chauffage, consommation d'eau et d'électricité, gestion des déchets d'activité, transports etc.). L'importance des aspects énergétiques, mentionnée plus haut, a conduit à chaîner ce modèle d'ACV à un outil de simulation thermique dynamique, COMFIE, ce qui lui confère une certaine avance par rapport aux autres outils du même type. La plupart des outils d'ACV Bâtiment, par exemple l'outil Elodie apparu 15 ans après Equer, nécessitent de re-saisir les données du bâtiment après avoir mené les calculs thermiques. L'interface intégrée d'Equer associant un modeleur graphique, la simulation thermique dynamique et l'ACV facilite la comparaison de variantes, indispensable en aide à la conception.

### **Exemple d'application sur les premières maisons passives construites en France**

Les maisons passives sont perçues comme performantes mais sous nos climats, certains redoutent des surchauffes en été, et même en mi-saison. D'autre part, la sur-isolation induit des impacts environnementaux pour produire ce surplus de matériaux par rapport à une maison traditionnelle. Cet « investissement » environnemental est-il récupéré sur la durée de vie du bâtiment, grâce aux économies d'énergie ?

Pour répondre à ces questions, les outils de simulation thermique et d'ACV présentés précédemment ont été appliqués sur les maisons passives construites en 2007 à Formerie, dans le département de l'Oise (60) par l'entreprise Les Airelles Construction.



Maisons passives à Formerie (Oise), En Act architecture, Entreprise Les Airelles Construction

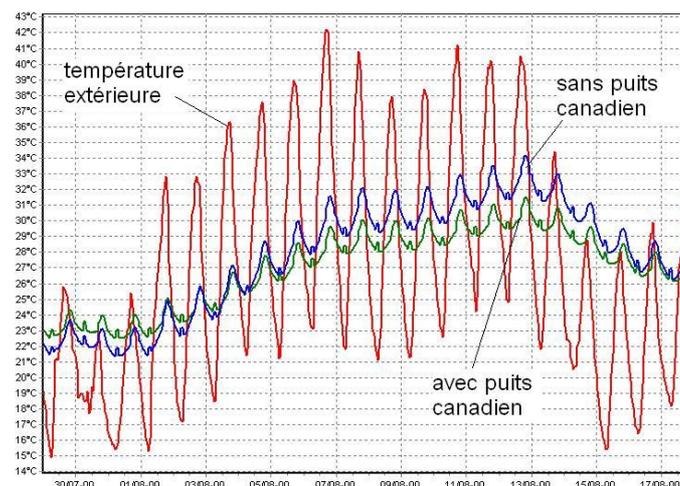
Des scénarios d'occupations ont été définis en considérant 4 occupants par logement et en supposant que la chaleur dissipée par l'éclairage et électroménager s'élève à environ 1500 kWh/an/logement. La consigne de chauffage est fixée à 19°C, 24h/24h, dans toutes les pièces du logement (hors garage). En ce qui concerne le renouvellement d'air, le débit hygiénique correspond à un total de 210 m<sup>3</sup>/h, soit environ 0,5 volume par heure, et un débit de 0,1 vol/h a été ajouté pour représenter les infiltrations. Un test de porte soufflante a été effectué sur ces maisons, et a permis de vérifier la performance exigée par le label Maison passive. Une efficacité de 80% a été considérée pour l'échangeur de la ventilation double flux mais comme l'air entrant par les infiltrations n'est pas préchauffé, une efficacité globale de 70% est prise en compte sur les 0,6 vol/h. Une sur-ventilation nocturne de 10 vol/h, ce qui correspond à l'ouverture des fenêtres, a été considérée pour toutes les pièces du logement (hors garage) de 23h à 8h en été. L'air neuf n'est pas préchauffé en été dans l'échangeur de la ventilation double flux.

Les besoins de chauffage annuels estimés par ces calculs sont inférieurs au seuil de 15 kWh/m<sup>2</sup> exigé par le label, mais il existe des incertitudes importantes sur les ponts thermiques, les infiltrations d'air et le scénario d'occupation. Une simulation avec des ponts thermiques deux fois plus importants aboutit à des besoins de chaleur supérieurs de 20% environ, par rapport à la simulation précédente. La période de chauffe s'étale de la deuxième semaine de novembre jusqu'à la mi-mars.

En ce qui concerne l'étude du confort, les simulations ont été effectuées sur une année type (station météorologique de Trappes), mais aussi sur une période de canicule (données relevées en 2003) afin de savoir si les logements restent confortables lors de ces périodes extrêmes. Des protections extérieures efficaces (stores extérieurs à lamelles) ont été mises en œuvre, ainsi qu'un puits canadien.

Sur une période d'été type, et sous réserve d'un comportement adéquat des habitants (fermeture des protections solaires, ouverture des fenêtres la nuit), les températures des logements restent modérées : même dans la zone la plus exposée (maison ouest, étage, sud), le nombre d'heures où la température dépasse 21°C est de l'ordre de 100.

Sur une période caniculaire d'une dizaine de jours, le bâtiment semble bien résister puisque la température de la zone la plus exposée reste environ à 10°C en dessous de la température extérieure. Le puits canadien a été évalué par un modèle aux volumes finis (intégré au logiciel COMFIE). D'après ces calculs, il réduit la température maximale des maisons de 2,5°C (cf. le graphe ci-dessous). En zone bruyante, il serait inconfortable d'ouvrir les fenêtres la nuit. L'usage du puits canadien est alors d'autant plus intéressant.

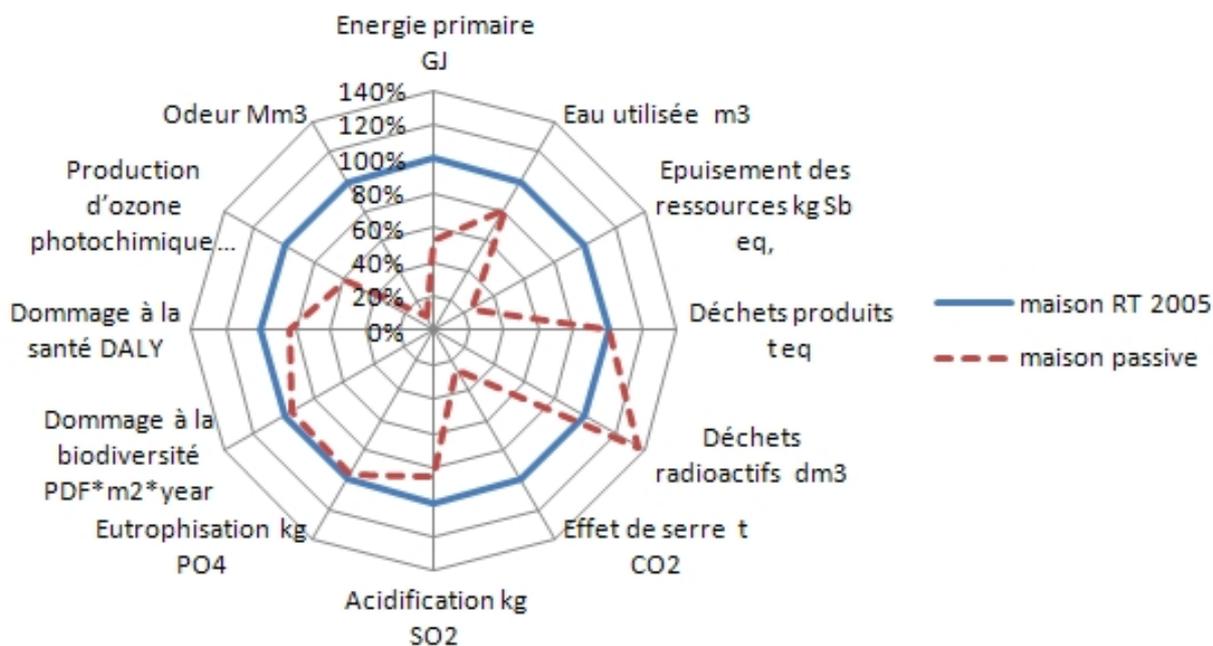


Températures évaluées par simulation dynamique (PLEIADES+COMFIE) sur une période de canicule

A protections solaires équivalentes, une maison passive ne présente, d'après ces calculs, pas plus de risque de surchauffe en période de canicule qu'une maison au standard réglementaire actuel. En effet l'isolation renforcée protège du chaud autant que du froid, elle ralentit les échanges et permet de conserver la fraîcheur de la nuit obtenue par sur-ventilation.

Une maison passive mobilise davantage de matériaux qu'une maison standard (isolant plus épais, triple vitrage...). L'analyse de cycle de vie permet d'évaluer l'intérêt global de ce concept, en prenant en compte l'impact supplémentaire de la fabrication des produits et l'énergie économisée.

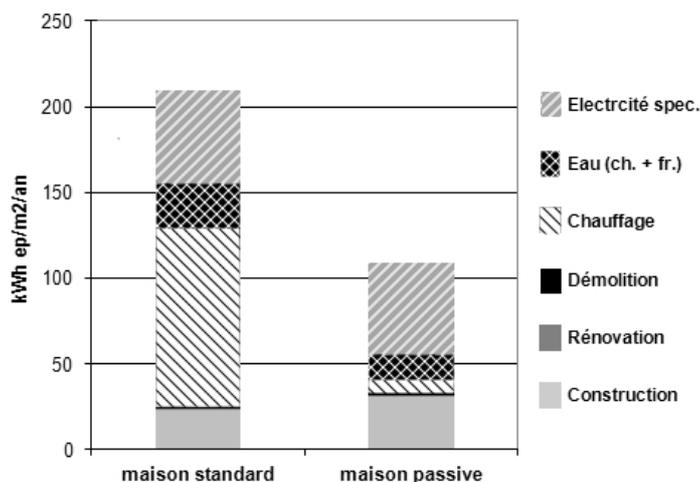
Le graphe ci-dessous montre une comparaison avec un bâtiment de forme identique mais des technologies correspondant aux valeurs de référence RT 2005 et un chauffage à gaz. La conception passive réduit la plupart des impacts environnementaux : l'augmentation des impacts liés à la fabrication des matériaux est largement compensée par les impacts évités grâce aux économies d'énergie, une durée de 80 ans étant considérée dans cette analyse.



Comparaison des impacts entre maison passive et réglementaire, logiciel EQUER

La pompe à chaleur utilisée à Formerie pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre (ceci étant, la demande d'électricité de pointe lors des journées froides d'hiver oblige à recourir à des moyens de production thermiques, fortement générateurs de CO<sub>2</sub>), mais génère une quantité plus importante de déchets radioactifs. La production d'électricité renouvelable, par exemple avec une toiture photovoltaïque permettrait d'améliorer le bilan.

Dans ce bilan, qui inclut l'ensemble de l'énergie consommée dans le bâtiment (y compris l'éclairage et l'électroménager), la phase de construction représente un tiers des consommations énergétiques (cf. le graphe ci-dessous) et des émissions de gaz à effet de serre. Les matériaux constituent la plus grande part des déchets produits (surtout en phase de démolition), et contribuent de manière importante à la toxicité (années de vie perdues – DALY-, surtout en phase de fabrication).



Contribution de différentes phases et sources d'impact au bilan énergétique

Des ratios exprimés par m<sup>2</sup> et par an permettent de comparer différents projets entre eux, cf. le tableau ci-dessous. Selon ces résultats, le concept passif constitue une solution pour améliorer les performances énergétiques et environnementales des bâtiments.

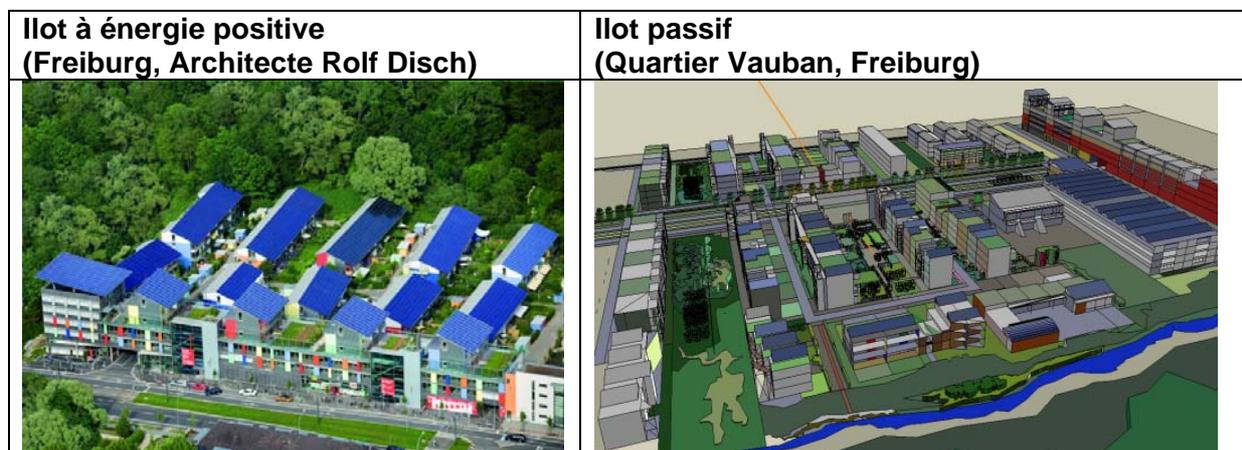
Performances environnementales obtenues pour des maisons individuelles (sur 80 ans)

Indicateur	Maison passive, chauffage PAC	Référence RT2005, chauffage gaz
Energie primaire (kWh/m <sup>2</sup> /an)	109	209
PRG <sub>100</sub> (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /an)	8	32
Déchets radioactifs (cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /an)	0,89	0,66
Autres déchets (t/m <sup>2</sup> )	1,73	1,71

Plusieurs pistes peuvent être proposées pour améliorer encore ce bilan, par exemple la production locale d'énergie d'origine renouvelable, l'emploi de matériaux à moindre impact et leur recyclage en fin de vie, les économies d'eau et / ou la récupération des eaux pluviales. Mais une interrogation plus globale concerne la pertinence de la maison individuelle, par rapport à un habitat plus groupé permettant de réduire la consommation de matériaux et d'énergie par la compacité, ainsi que les besoins de transport liés à l'étalement urbain. L'ACV a alors été étendue à l'échelle d'un quartier [Popovici, 2006], [Herfray, 2011].

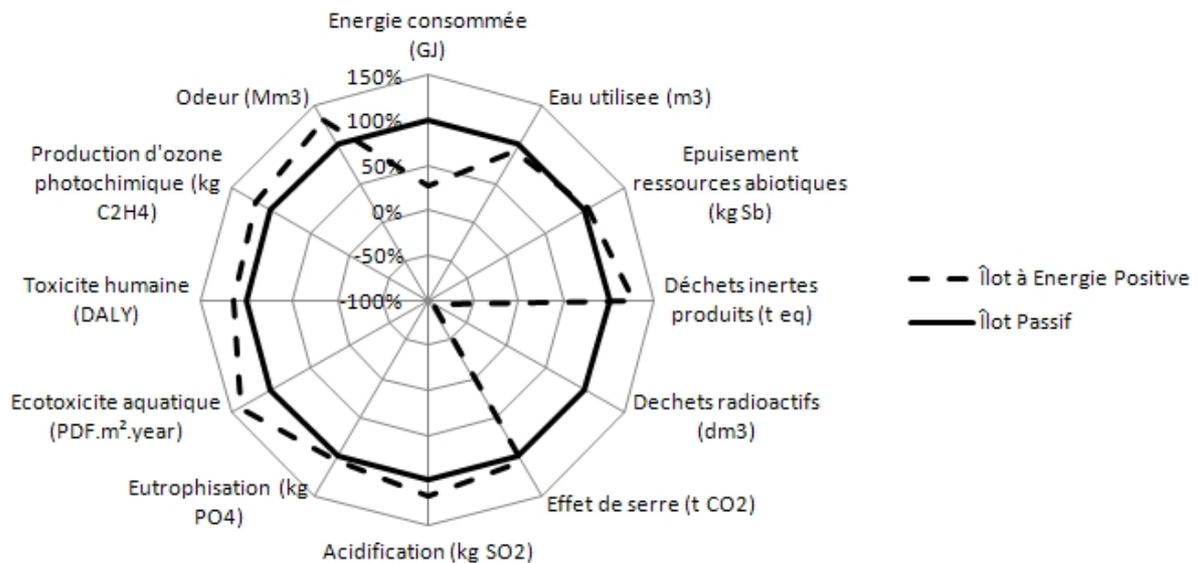
### Etude de cas à l'échelle d'un îlot

Afin de mieux cerner les performances des bâtiments passifs et à énergie positive en termes d'impacts environnementaux, une comparaison a été menée sur deux îlots du quartier Vauban à Freiburg (Allemagne) : un îlot passif, et les maisons Plus Energie construites par l'architecte Rolf Disch. Afin de se situer dans le contexte français, le climat de l'île de France a été considéré, ainsi que le mix de production d'électricité français (78% par la filière nucléaire, 14% d'hydro-électricité, 4% de gaz et 4% de charbon).



Les principales hypothèses considérées pour l'ACV sont les suivantes, les détails peuvent être obtenus dans l'étude de [Vorger, 2011]. L'étude considère que l'ensemble des bâtiments ont une durée de vie de 80 ans et qu'ils sont détruits à cette échéance. Les matériaux sont considérés comme inertes en fin de vie, à l'exception des métaux qui sont recyclés. Les distances de transport sont de 100 km de la fabrication au chantier et de 20 km du site à la décharge inerte en fin de vie. La durée de vie des portes et fenêtres est de 30 ans, celle des revêtements est de 10 ans.

L'une des difficultés de cette comparaison a été le nombre différent de logements et de bureaux dans chaque îlot. Nous avons alors dû adapter le nombre de bâtiments pour obtenir la même unité fonctionnelle. Les résultats de l'ACV sont alors les suivants.



Comparaison par ACV entre îlot passif et à énergie positive (sur 80 ans)

Selon des résultats, la variante à énergie positive permet de réduire très fortement la consommation d'énergie primaire et la production de déchets radioactifs, mais certains impacts concernant la santé et la biodiversité sont augmentés. Il est vrai que la contribution des bâtiments à ces impacts est faible par rapport aux autres activités humaines, mais la préférence environnementale entre les deux variantes dépend des priorités accordées aux différents impacts.

### Limites de la méthodologie

Une limite commune à l'ensemble des indicateurs est l'imprécision des évaluations. Il est souvent difficile de connaître la marge d'incertitude sur les données et les résultats, mais elle peut être élevée. Dans des domaines comme la thermique, il est possible de comparer les résultats d'un calcul à une facture énergétique ou une mesure de température. Mais s'agissant d'émissions de CO<sub>2</sub> par exemple, la mesure ne peut s'effectuer que sur un procédé isolément, et non sur l'ensemble du cycle de vie d'un bâtiment. Un premier niveau d'imprécision concerne l'évaluation des flux de matière et d'énergie (données d'inventaire). Un deuxième niveau correspond à l'agrégation en effets (impacts potentiels), par exemple l'incertitude sur le potentiel de réchauffement global des gaz à effet de serre a été estimée à 35%. Enfin, un troisième niveau concerne le passage des effets aux dommages (années de vie perdues par exemple). Une autre cause d'erreur est liée à la durée de la période d'analyse. Il est par exemple difficile de prévoir l'évolution des techniques de traitement de déchets, en particulier pour la démolition qui peut se produire à une échéance lointaine. Peut-être vaudrait-il mieux envisager une analyse statistique, basée sur des scénarios affectés d'une probabilité. Le caractère multi-critères de l'évaluation nécessite enfin d'aborder la question des priorités, qui dépendent du contexte local (rareté de l'eau dans certaines régions par exemple) et des choix des décideurs.

Pour mieux cerner ces limites, huit outils européens ont été comparés dans le cadre du réseau thématique européen PRESCO [Peuportier, 2004]. Dans l'exemple d'une maison suisse à ossature bois, la contribution à l'effet de serre calculée sur 80 ans diffère de +/- 10% selon les outils. Cet écart est du même ordre que celui constaté sur les bilans énergétiques. Une étude menée sur des maisons « passives » à Chambéry [Brun, 2009] a montré de faibles écarts entre les outils sur les besoins de chauffage annuels : 18 kWh/m<sup>2</sup> avec PHPP, 17 avec Energy Plus, 18,5 avec TRNSYS et 19 avec Pleiades+Comfie.

## Conclusions

L'application des outils d'éco-conception peut permettre de faire évoluer le concept des bâtiments passifs en intégrant le cycle de vie des constructions, et en particulier la recherche de matériaux à moindre impact. D'autre part, il semble intéressant sur le plan environnemental de compléter l'approche passive avec des éléments permettant de valoriser les énergies renouvelables, en particulier le solaire thermique et photovoltaïque. L'éco-conception peut alors aider à adapter la performance de l'enveloppe et le dimensionnement des systèmes de manière à réduire les impacts environnementaux.

Au-delà de l'échelle du bâtiment, cette analyse peut être étendue à un îlot voire à un quartier afin de profiter de degrés de liberté supplémentaires concernant par exemple l'orientation des voiries ou la conception d'équipements collectifs comme un réseau de chaleur ou un stockage saisonnier. La construction neuve ne représente par an qu'environ 1% du parc existant. Une application prometteuse de l'éco-conception concerne alors la réhabilitation des bâtiments existants, ouvrant la voie à la réhabilitation passive à moindre impact environnemental.

Ces travaux ont été réalisés grâce au soutien de l'ADEME, du PUCA (Plan Urbanisme Construction et Architecture), de la Commission Européenne et de la Chaire Eco-conception des ensembles bâtis et des infra-structures créée par ParisTech en association avec l'entreprise VINCI.

## Références bibliographiques

- Brun et al., Analyse du comportement de différents codes de calcul dans le cas de bâtiments à haute efficacité énergétique, IXème Colloque Interuniversitaire Franco-Québécois sur la Thermique des Systèmes, Lille, mai 2009
- Darnay A. et Nuss G., Environmental impacts of Coca Cola beverage containers, Midwest Research Institute report, 1971
- Feist W., Lebenszyklus Bilanzen im Vergleich: Niedrigenergiehaus, Passivhaus, Energieautarkes Haus; in: Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 8, Passive House Institute, 1997
- Forster, P.M., Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing, In: Solomon et al., Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 2007
- Frischknecht R. et al., Overview and Methodology: ecoinvent report No. 1. , www.ecoinvent.ch, Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2007
- Goedkoop M.J. et Spriemsma R., The Eco-Indicator 99, A damage oriented method for life cycle impact assessment, methodology report, methodology annex, manual for designers, Amersfoort, juin 2001
- Guinée J. B., (final editor) et al., Life cycle assessment; An operational guide to the ISO standards; Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (VROM) and Centre of Environmental Science (CML), Den Haag and Leiden, The Netherlands, 2001
- Herfray G., Contribution à l'évaluation des impacts environnementaux des quartiers, PhD thesis, MINES ParisTech, 329p, Octobre 2011
- INIES, base de données française concernant les caractéristiques environnementales et sanitaires des produits de construction, www.inies.fr, accès le 22/08/2011
- Kohler N., Analyse énergétique de la construction de l'utilisation et de la démolition de bâtiments, thèse de doctorat, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1986
- Peuportier B. et al., European project REGENER, life cycle analysis of buildings, 2nd International Conference « Buildings and the environment », Paris, juin 1997

Peuportier B. et al., Inter-comparison and benchmarking of LCA-based environmental assessment and design tools, Sustainable Building 2004 Conference, Varsovie, octobre 2004

Peuportier B., Eco-conception des bâtiments et des quartiers, Presses de l'Ecole des Mines, Paris, novembre 2008

Polster B., Contribution à l'étude de l'impact environnemental des bâtiments par analyse du cycle de vie, thèse de doctorat, MINES ParisTech, décembre 1995

Popovici E., Contribution to the Life Cycle Assessment of settlements, thèse de doctorat, MINES ParisTech, février 2006

Vorger E., Application de l'analyse de cycle de vie à la comparaison de morphologies urbaines, rapport Master de Sciences et Technologies de l'UPMC, juin 2011