

Journée technique sur l'étanchéité à l'air des bâtiments

Dijon - 21 Novembre 2007

**Les bâtiments à faible consommation
d'énergie - Eléments de contexte**

**Olivier SIDLER
Directeur ENERTECH**

Les bâtiments à faible consommation d'énergie - Eléments de contexte

Olivier SIDLER - Directeur ENERTECH
26160 Félines sur Rimandoule - Email : sidler@club.fr

Au début des années 80, à la suite du second choc pétrolier, le baril coûtait tellement cher que le déficit commercial de la France se montait à 200 milliards de francs par an. Des programmes de maîtrise de l'énergie se mettaient en place. Puis brusquement, la tension s'est relâchée vers 1985, le baril a atteint 10 dollars, et la France s'est endormie. D'un coup, les réserves semblaient inépuisables, les problèmes disparus, et l'arrivée sur le marché de l'électricité nucléaire semblait résoudre toutes nos difficultés pour l'éternité. La France a complètement arrêté de réfléchir à des solutions efficaces, et aux difficultés pourtant évidentes qui nous attendaient.

On peut donc effectivement se demander ce qui a changé depuis, et pourquoi essayer aujourd'hui de construire et rénover des bâtiments pour réduire leur consommation de chauffage, comme on le verra, à la moitié de celle des constructions neuves actuelles. Les raisons de ce choix sont guidées par une analyse globale de la situation énergétique mondiale en ce début de XXI^{ème} siècle. Cette approche se fonde sur une analyse en trois parties : l'épuisement des ressources, les tensions géopolitiques et les nuisances environnementales.

1 - Les grands défis de l'énergie au XXIème siècle

1.1 Des réserves d'énergie fossile en voie d'épuisement....

Au rythme de consommation actuel, les **réserves prouvées** d'énergie fossile sont de 40 années pour le pétrole, 63 pour le gaz, 218 pour le charbon et 71 pour l'uranium. Si, au lieu de raisonner à consommation constante (ce qui est évidemment faux), on tient compte de l'augmentation annuelle de la demande (égale à 2%/an depuis 30 ans), dans 50 ans l'ensemble des réserves prouvées sera épuisé.

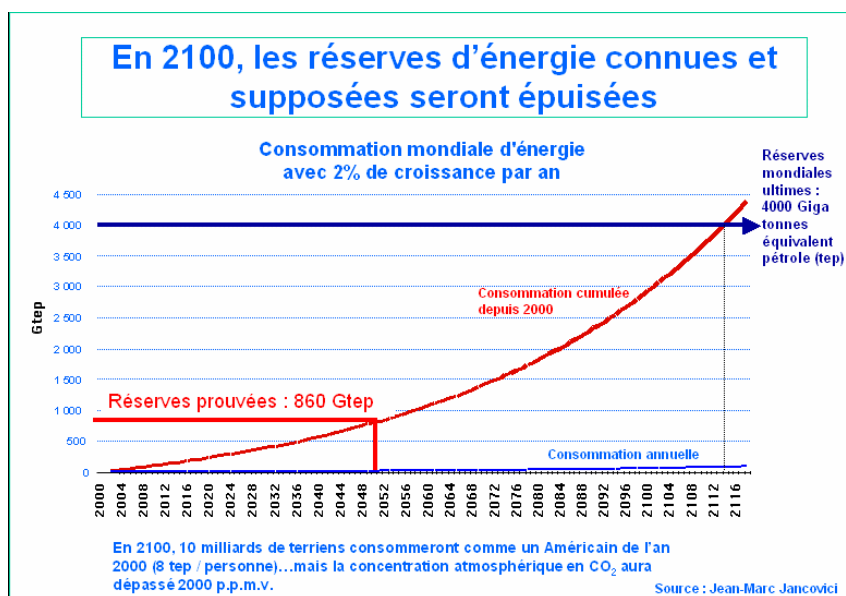


Figure 1 : Ressources énergétiques fossiles et consommation d'énergie

On découvrira bien sûr d'autres gisements (plus chers). Si on ne change toujours rien à nos modes de consommation mais si on considère maintenant les *réserves ultimes* d'énergie, c'est à dire la totalité de l'énergie que l'on pense pouvoir découvrir et extraire un jour dans le meilleur des cas, la croissance de la demande aura eu raison de ce gisement ultime...en 2115, soit d'ici un siècle. Il n'y aura alors plus une seule « goutte » d'énergie fossile à disposition de l'homme. A l'évidence, mais il y a longtemps qu'on le sait, nous sommes condamnés à nous adapter rapidement.

Ce délai d'un siècle, même s'il peut paraître énorme à l'échelle individuelle, n'en est pas moins ridiculement court au regard des enjeux et du problème posé. En effet, il va falloir changer nos systèmes de production et de consommation d'énergie pour s'adapter. Et ces transformations seront longues : bâtiments, machines, véhicules, sont conçus pour durer plusieurs décennies. Le choix des infrastructures (rail ou route par exemple) a des effets pendant parfois un siècle. Loin de permettre de « voir venir » les quelques décennies de ressources seront tout juste suffisantes pour opérer ces transformations lourdes qui devront en plus commencer par vaincre l'inertie de nos mentalités.

Voilà pour la question du « réservoir ». Mais l'humanité a en plus un problème de robinet. C'est le fameux « pic de Hubbert ». Le moment inéluctable et irréversible à partir duquel l'offre d'énergie fossile sera définitivement inférieure à la demande, quoiqu'on fasse.

Ceux qui pourront alors avoir de l'énergie seront ceux qui la payeront le plus cher. C'est ainsi que le marché arbitrera. On assistera donc avec certitude à une envolée des prix de l'énergie. Mais personne ne peut dire à combien ce prix se stabilisera : 200, 300, voire 400 dollars le baril ? La seule chose dont on est certain, c'est que cette hausse sera spectaculaire, et surtout qu'elle aura des effets redoutables sur l'économie. On peut également et surtout craindre une tension sociale très forte, lorsque les français les moins aisés seront dans l'incapacité totale de payer une facture énergétique quatre fois plus chère que celle, parfois déjà élevée, qu'ils payent aujourd'hui.

Or le pic de Hubbert est prévu par les plus optimistes (par exemple la compagnie Total) en 2020. Les experts indépendants le situent beaucoup plus près de 2010. La catastrophe économique est donc très clairement à notre porte....

Le pic de Hubbert n'affecte pas que le pétrole. Ainsi, l'approvisionnement énergétique chinois est fondé pour les deux tiers sur le charbon, particulièrement abondant dans ce pays qui possède 22% des réserves mondiales. Or le pic de Hubbert pour le charbon chinois (peak coal) est prévu en....2020 !

De manière paradoxale, dans ce contexte de relative pénurie, les lois du marché fonctionnent de manière peu claire. L'économie enseigne que le prix d'un bien est le reflet de sa rareté. Or même à 60 dollars le baril, le pétrole est moins cher que l'eau minérale ! Que faut-il en conclure ? Les outils qui régulent si bien la vente en supermarché ne fonctionnent plus de manière satisfaisante dès qu'il s'agit de l'énergie...L'économie nous envoie un signal brouillé quant à la rareté des énergies fossiles, ce qui ne permet pas aux opérateurs d'agir comme pour une pénurie de sucre ou d'eau minérale, c'est à dire en anticipant.

La première conclusion face à la raréfaction des ressources est que, malgré les apparences, on dispose de peu de temps pour trouver de nouvelles solutions et s'adapter à cette situation de pénurie.

1.2 Des tensions géopolitiques graves à cause de l'énergie...

La seconde observation qui s'impose concerne la localisation géographique des ressources d'énergie fossiles. Ces ressources se trouvent réparties de façon peu homogène à la surface de la Terre : 65 % des réserves de pétrole et 35% des réserves de gaz sont au Moyen Orient, seule région à pouvoir offrir au monde riche sa croissance et ses ajustements de

consommation dans le futur. Mais 70% des réserves de charbon sont regroupées dans les trois régions potentiellement les plus puissantes du monde : les USA, la Chine et l'ex URSS.

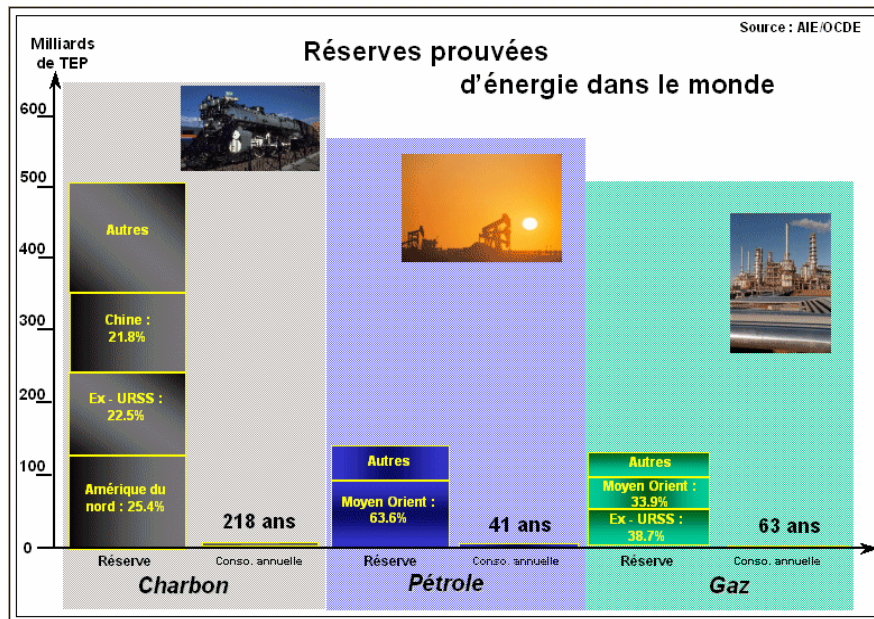


Figure 2 : Origine géographique des principales ressources fossiles

L'Irak dispose probablement des plus grosses réserves de pétrole du monde, et ce pétrole est le meilleur marché de la planète (son extraction est très aisée). Il pourrait donc constituer demain le prix directeur de l'énergie. Dans ce contexte, la guerre en Irak trouve une explication simple. Elle préfigure d'autres guerres à venir (à moins que l'entreprise américaine échoue lourdement...), toutes destinées à contrôler l'approvisionnement en énergie du monde riche. Puis viendront les guerres pour le partage de ces ressources, donc entre pays riches. Ces guerres là seront de type économique, et elles opposeront un tripôle de nations regroupées autour des Etats Unis, de l'Europe et de la Chine. Et ceci se déroulera sur fond de pénurie dans les pays les plus pauvres.

Mais on ne peut aussi exclure encore d'autres conflits, consécutifs aux désordres climatiques eux-mêmes, comme les inondations par suite de la montée du niveau des eaux de l'océan, ou la désertification de certaines zones du globe et l'exode des populations vers des pays qui, évidemment, les combattront pour ne pas être envahis. D'ores et déjà l'ONU a prévu que 150 millions de personnes seront « déplacés du climat » en 2050.

La seconde conclusion face au regain de ces tensions géopolitiques est que les stratégies énergétiques actuelles des pays riches mènent avec certitude à une recrudescence des guerres et de la misère sur Terre. Et dans ce contexte, tous les scénarii du futur sont pour les pays pauvres des scénarii catastrophes dont ils ne sortiront pas vainqueurs.

1.3 L'énergie à l'origine de graves désordres environnementaux....

Enfin, l'énergie est grande responsable dans les problèmes environnementaux. A tous les stades de sa transformation, l'énergie est source de nuisances : marées noires, effet de serre, couche d'ozone, déchets radioactifs, la liste est longue et l'impact environnemental de ces nuisances n'est plus nié par quiconque. La plus grave et la plus immédiate de ces menaces est le réchauffement climatique (majoritairement dû au CO₂), dont d'origine anthropique est aujourd'hui bien établie : le monde libère déjà deux fois plus de carbone que ce que la Terre

peut absorber (essentiellement par les océans). Si les pays riches ne divisent pas très vite par 4 ou 5 (voire 10 pour certains) leurs rejets de gaz à effet de serre (donc aussi leurs consommations d'énergie), les désordres observés se multiplieront : inondations, tempêtes, modification des régimes de climats et de pluies, inversion des grands courants marins, voire « débullage » de l'océan qui au lieu d'absorber le CO₂ relarguerait celui qu'il contient déjà.

D'ores et déjà, on sait que l'élévation de température au cours du XXI^{ème} siècle se situera, si on ne fait rien, entre 4 et 5 °C. Les « archives » climatologiques contenues dans les glaces polaires et vieilles de 720.000 ans ne contiennent aucune température terrestre correspondant à 5°C de plus que la température actuelle. En revanche, il y a 18.000 ans, à la fin de la dernière ère glaciaire, la température de la Terre a été inférieure de 5°C à la température actuelle. Le niveau des océans était inférieur de 120 m au niveau actuel et on se rendait à pied sec de France en Angleterre, l'Europe du Nord et l'Allemagne étaient recouvertes par 3 km de glace et le sol de la France était du permafrost.... Autant dire qu'à la fin du siècle, 5°C de plus correspondront à un *changement d'ère climatique*, et pas à un banal changement de temps permettant de bronzer un peu plus l'été et de se chauffer un peu moins l'hiver. C'est une révolution qui nous attend, et peu de Français, même parmi les décideurs et les élus, en sont vraiment conscients.

2 - Les conditions de l'équilibre en carbone sur Terre. Facteur 4 ou 7 ?....

Les conditions de l'équilibre en carbone sur Terre sont simples : le seul puits de carbone à long terme est l'océan (un peu aidé par la forêt....). Il absorbe, bon an mal an, 3 milliards de tonnes de carbone annuellement. Comme il y a 6 milliards d'habitants sur Terre, chacun de nous, en toute équité, a droit de rejeter 0,5 tonne de carbone/an. Globalement la Terre rejette déjà le double. En clair cela signifie pour les pays riches de réduire par un facteur 4 à 5 leurs émissions de gaz à effet de serre actuelles, donc sensiblement leurs consommations d'énergie. A ce jour, la plupart des instances internationales et des chefs d'Etats raisonnables ont admis cette idée, même s'ils ne l'ont pas encore traduite en actions.

Ouvrons un instant une parenthèse sur ce calcul d'équilibre en carbone de la planète. Il est effectué avec la population actuelle (6 milliards de personnes), alors qu'il se propose d'atteindre l'équilibre en 2050, une époque où nous serons... 10 milliards d'habitants. **Il serait donc plus honnête et plus juste d'admettre que l'effort à faire n'est pas le facteur 4, mais le facteur 7.**

3 - Alors que faire ?....

En ce début de XXI^{ème} siècle nous sommes donc confrontés à une double problématique : celle du réchauffement climatique qui menace notre survie sur Terre et celle de la pénurie en énergie fossile, avec pour corollaire une grave crise économique si la facture énergétique n'est pas contrôlée.

A ce stade on peut donc se poser la question : faut-il réduire nos besoins (par la maîtrise de l'énergie) ou bien chercher des sources d'énergie de substitution ?

La réponse est simple : il faut faire les deux. Dans la situation d'urgence actuelle, il faut d'abord maîtriser l'énergie parce que c'est facile et spectaculaire, puis rechercher des solutions énergétiques de substitution pérennes capables de répondre à nos besoins à long terme.

A vrai dire, on peut même aller plus loin, à l'image de ce que propose l'association Négawatt (constituée de spécialistes de l'efficacité énergétique et de l'utilisation des énergies renouvelables). Il faut pour cela mettre en œuvre un triptyque d'actions comprenant bien sûr l'efficacité énergétique et le recours aux renouvelables, mais aussi avant toute chose, de la sobriété énergétique.

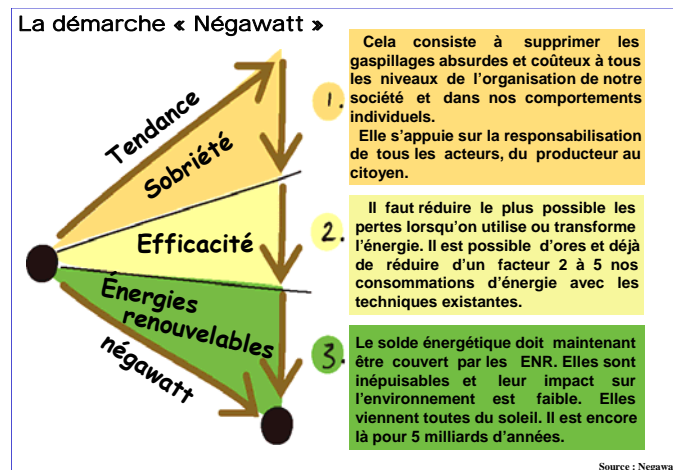


Figure 3 : La démarche Négawatt

La *sobriété énergétique* est un repositionnement individuel et collectif face à l'énergie. Chacun doit se demander s'il a besoin d'un 4x4 pour être heureux, s'il a besoin de laisser marcher son ordinateur 24h/24, d'aller aux Caraïbes en avion, d'avoir une piscine individuelle pour être heureux. A chaque fois la réponse sera non. Il existe d'autres moyens, d'autres façons de faire pour trouver bonheur et équilibre....

De même une collectivité devra se poser les mêmes questions avant de choisir ou non un équipement. Arbitrer par exemple entre le rail et la route a une incidence sur la consommation énergétique pendant un siècle....

4 - Petite application du facteur 4 au cas du bâtiment...

Dans ce contexte, la réduction des consommations du bâtiment est donc une priorité. D'abord parce que le bâtiment est le secteur le plus consommateur d'énergie (46 % de la consommation totale), l'un des plus gros émetteurs de gaz à effet de serre (25 % des émissions totales), et c'est surtout là qu'il est le plus facile d'agir, à la fois techniquement et rapidement. L'ensemble de la profession doit donc s'en persuader et s'engager dans un programme volontariste.

Mais quels objectifs faut-il atteindre ?

Le tableau de la figure 4 fait apparaître les consommations actuelles, et les valeurs cibles à atteindre, dans l'hypothèse d'une division par 4 des consommations d'énergie.

Secteur	Usage	Bâtiments <1975	Bâtiments neufs	Ensemble actuel	Valeurs cibles
Résidentiel	Chauffage kWh/m ² /an ⁽¹⁾	328	80 à 100	210	50
	ECS* kWh/m ² /an ⁽¹⁾	36	40	37,5	10
	Electricité à usage spécifique (kWh/pers/an)	1000	1000	1000	250
Tertiaire	Chauffage kWh/m ² /an ⁽¹⁾	209	155	196	50
	ECS* kWh/m ² /an ⁽¹⁾	19	40	29	7
	Electricité à usage spécifique (kWh/m ² /an)	?	variable selon secteur	96	24

(1) en kWh d'énergie primaire par m² habitable

(*) ECS : Eau chaude sanitaire

Sources : Observatoire de l'énergie, INSEE

Figure 4 : Consommation d'énergie par usage, exprimée en énergie primaire par m² habitable

4.1 Quelles contraintes pour le chauffage ?

On voit dans le tableau de la figure 4 que, dans le secteur résidentiel comme dans le secteur tertiaire, il faut atteindre en France une consommation moyenne de chauffage d'environ **50 kWh/m²/an** pour satisfaire les conditions de l'équilibre en carbone. Il est à noter que, si on visait le facteur 7 (le seul vraiment réaliste), il faudrait rechercher une consommation de 30 kWh/m²/an.

Est-ce qu'une performance de 50 kWh/m²/an en construction neuve ou en rénovation est techniquement possible ? Les expériences étrangères (Allemagne, Suède, Danemark, Autriche, Suisse, etc) nous prouvent que oui, sans problème. Mais la question ne se pose pas tout à fait ainsi. Il ne s'agit en effet pas de savoir si c'est techniquement possible ou si c'est cher. La question est plutôt de savoir quand est-ce qu'on commence à transformer les bâtiments et donc quand est-ce qu'on aura trouvé les moyens techniques et économiques pour y parvenir. Car nous n'avons pas le choix. Nous sommes condamnés à réussir ce pari technologique, ou à disparaître petit à petit. **Toute discussion, toute procédure tentant de prouver le contraire ou visant à entraver cette démarche conduit à une perte de temps qui pourra coûter cher à l'humanité dans la course contre la montre qu'elle doit aujourd'hui entreprendre.**

4.2 Et pour l'eau chaude sanitaire ?

La quantité d'énergie consommée pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS) croît chaque année. Malheureusement, ce phénomène correspond non pas à une augmentation des besoins mais plutôt des gaspillages, notamment avec la généralisation des usages « au fil de l'eau ».

Diviser par quatre la consommation de l'eau chaude sanitaire, c'est limiter cet usage à **10 kWh/m²/an**.

Autant sur le chauffage il existe des solutions relativement simples pour parvenir à diviser par quatre les consommations, autant sur l'eau chaude sanitaire cela va poser de nombreux problèmes parce qu'une partie importante de la solution réside pour le moment dans les changements de comportement. Les chauffe-eau solaires ne pourront pas à eux seuls apporter une réponse.

Mais l'objectif de réduction est là, et il devra aussi être atteint...

4.3 La question particulière de l'électricité spécifique

On peut se demander pourquoi réduire aussi les consommations d'électricité spécifique, puisqu'on cherche d'abord à réduire les émissions de gaz à effet de serre et que la majorité de l'électricité, en France, est produite par du nucléaire et de l'hydraulique considérés comme peu émetteurs de gaz à effet de serre. Pour plusieurs raisons :

- d'abord parce que la ressource électrique, même si elle ne subit pas actuellement une tension similaire à celle des hydrocarbures, est une ressource limitée et que rien ne justifie son gaspillage. Il serait même incompréhensible pour la population qu'on l'astreigne à économiser certaines ressources énergétiques et pas d'autres,

- dans les bâtiments à très faibles consommation, la période estivale présente des risques de surchauffe importants liés à l'effet « bouteille thermos » : tout apport de chaleur dans la bouteille, qu'il soit externe (solaire) ou interne (électrodomestique), provoque une forte élévation de température. Or l'électricité spécifique représente 40 à 50 % des apports de chaleur d'un logement en été. Et l'obtention d'un bon confort sans ou avec peu de climatisation passe inévitablement par une réduction des niveaux de consommation électrodomestique.

■ enfin, dans les logements à très faible consommation, l'électricité spécifique représente de très loin la plus grosse contribution au bilan en énergie primaire.

Il paraît donc impératif de réduire également les consommations d'électricité spécifique consommées dans les logements. Actuellement, cette consommation est de 1000 kWh/personne/an (on utilise la référence aux personnes et pas à la surface car elle est plus adaptée). Il est donc proposé de viser à terme la consommation de 250 kWh/personne/an.

5 - La contrainte de la pénurie des ressources énergétiques

Ce qui précède s'inscrit dans une lutte contre le réchauffement climatique. Mais ce n'est malheureusement pas le seul problème que l'on ait à régler. On l'a vu, il se profile une pénurie des ressources énergétiques qui va nous imposer de raisonner encore autrement...

On voit rarement cette contrainte formulée de façon claire et explicite. Pourtant, ce qui a été présenté précédemment montre que d'ici 60 à 70 ans il n'y aura plus guère de ressources fossiles exploitables sur Terre, si on ne change rien à notre manière de consommer.

On peut épiloguer sur cette échéance, la trouver optimiste ou pessimiste, peu importante. Elle a le mérite de dire clairement que des limites existent, et qu'il vaut mieux se préparer à les affronter plutôt que mettre la tête dans le sable en espérant que cela s'améliore tout seul....

Dès lors quelle stratégie pour le bâtiment ?

Très clairement, **il va falloir apprendre à rénover et à construire des bâtiments autonomes énergétiquement, et même, faire des bâtiments à énergie positive**, c'est à dire consommant moins d'énergie chaque année qu'ils n'en produisent.

Une telle stratégie repose forcément sur une conception en deux étapes :

- réduire le plus possible l'ensemble des consommations d'énergie (par exemple les besoins de chauffage devront être de l'ordre de 10 kWh/m²/an),
- doter le bâtiment d'éléments propres à la production énergétique. Dans bien des cas, ce sont les photopiles qui assurent cette double fonction d'élément du bâti et de moyen de production d'énergie.

C'est précisément ce qui est sorti du Grenelle de l'Environnement qui a proposé, rappelons le, **qu'en 2020 tous les bâtiments neufs livrés soient à énergie positive**. Nous sommes donc appelés dans un délai très court, à savoir construire (et probablement aussi rénover) de façon courante des bâtiments à énergie positive, donc à très faible consommation (de type Passivhaus). Nous n'avons pas le choix, et plutôt que rechigner et se plaindre que rien ne va plus comme avant (si, si !), il vaut mieux, tous ensemble, en mutualisant nos compétences, tenter de relever ce défi dès aujourd'hui.

6 - Bâtiments à faibles besoins et étanchéité à l'air....

L'étanchéité à l'air des bâtiments n'est pas un sujet très prisé en France. On accepte volontiers le petit courant d'air autour des fenêtres les jours de vent....

Malheureusement, on ne pourra pas faire de bâtiments performants sans mettre en œuvre une étanchéité à l'air parfaite des enveloppes ! Car, si un déficit de consommation d'énergie due à l'inétanchéité à l'air joue un rôle marginal dans un bâtiment « classique » consommant 200 kWh/m²/an, ce n'est plus du tout le cas dans un bâtiment à très faible consommation parce que le poids des défauts d'étanchéité est du même ordre de grandeur que la consommation elle-même !

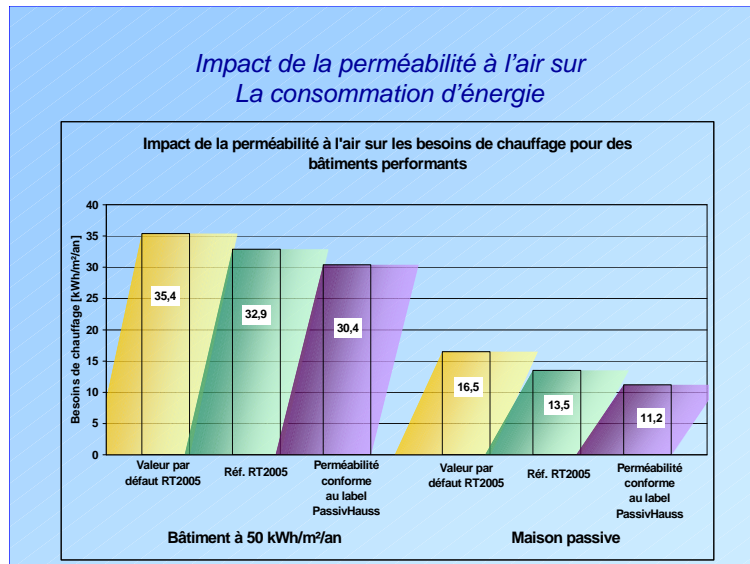


Figure 5 : impact de la perméabilité de l'enveloppe sur la consommation d'un bâtiment (simulation avec TRNSYS)

La figure 5 montre qu'en passant seulement des valeurs par défaut de la RT 2005 pour la perméabilité à l'air, à des valeurs correspondant au label allemand Passivhaus (soit 0,6 vol/h sous 50 Pa), le gain de consommation est de 5 kWh/m²/an. Un logement de type Passivhaus dont l'étanchéité à l'air ne serait pas 0,6 vol/h (sous 50 Pa) mais la valeur par défaut de la RT 2005 verrait donc sa consommation augmenter de...50 % !!

A fortiori, on imagine le poids considérable d'un déficit de perméabilité à l'air au-delà de la valeur par défaut de la RT 2005. En France, les logements couramment livrés, sans attention particulière portée à la perméabilité, présentent des valeurs de 10 vol/h sous 50 Pa. La performance énergétique n'est tout simplement plus possible dans ces conditions.

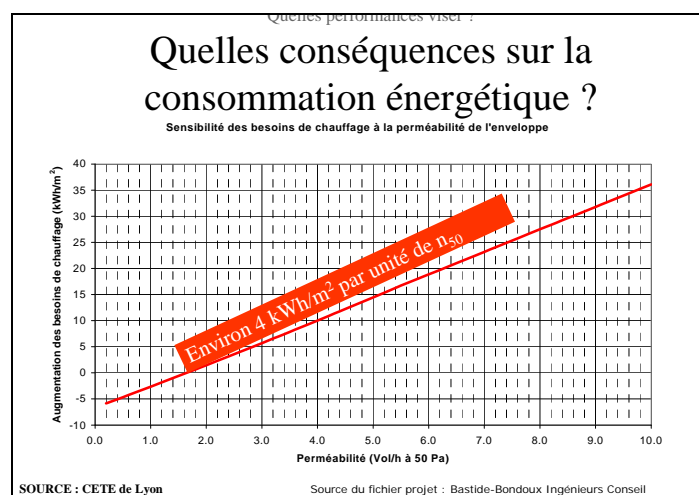


Figure 6 : impact de la perméabilité de l'enveloppe sur la consommation d'un bâtiment (source CETE de Lyon)

Le graphique de la figure 6 quantifie cet impact : de l'ordre de 4 kWh/(vol/h sous 50 Pa). Passer de 1 à 3 vol/h sous 50 Pa au test de la porte soufflante, c'est augmenter de 8 kWh/m²/an les besoins de chauffage d'un bâtiment.

Le déficit de perméabilité à l'air d'un bâtiment c'est donc d'abord une augmentation forte de la consommation de chauffage, mais c'est aussi une source importante d'inconfort dans des logements qui devraient au contraire être très confortables.

L'objet de ce colloque est de savoir comment on peut réaliser concrètement une bonne étanchéité à l'air des bâtiments. A ces mots, le maître d'œuvre et l'entrepreneur moyen en France pensent tout de suite à l'arme idéale pour résoudre le problème : le joint au pistolet.....

Voici ce que l'architecte autrichien Walter Unterrainer disait il y a deux ans lors d'une conférence à Grenoble sur le Vorarlberg :

« Chez nous en Autriche, le joint au pistolet commence là où l'intelligence s'arrête »

.... ce qui provoqua un silence poli dans la salle.

Par cette phrase drôle (pour lui...) Walter Unterrainer voulait dire que dans la réalisation de l'étanchéité à l'air, tout devait commencer par une bonne conception, un bon dessin. Bien choisir comment va se faire l'étanchéité, assurer la continuité de cette étanchéité tout autour de l'enveloppe, etc. Un vrai travail de concepteur. Et c'est seulement après que les joints de toutes sortes sont sollicités.

Pour progresser plus vite sur ce sujet, nous avons voulu faire appel aux meilleurs spécialistes français et européens (voire même québécois !). Nous avons privilégié une double approche à la fois sur la bonne conception architecturale, et sur l'utilisation de tous les produits mis à notre disposition pour réaliser cette étanchéité. C'est une façon de gagner du temps tous ensemble.....

Mais l'ultime question, celle que l'on entend souvent, est : **« Comment peut-on vivre dans une maison étanche à l'air ? On va mourir asphyxié ! »**.

Evidemment non ! Construire étanche à l'air c'est contrôler tous les mouvements d'air, notamment les jours où il y a du vent. On est ainsi certain de limiter les débits parasites, et donc les consommations d'énergie. Mais on est évidemment obligé de prévoir un dispositif de ventilation généralement de type mécanique (sans quoi on ne contrôlera pas vraiment les débits d'air....), ce qui permettra surtout de pouvoir récupérer la chaleur de l'air extrait qui représente un enjeu incontournable de 20 à 25 kWh/m²/an sur la consommation de chauffage

■