



# Jacques RILLING

Ingénieur des Industries Chimiques et Docteur es-Sciences Physiques, Jacques RILLING a débuté sa carrière en tant qu'attaché de recherche au CNRS spécialisé en thermodynamique de l'état solide dans un laboratoire de l'Ecole Nationale des Industries Chimiques à NANCY.

En 1976, Jacques Rilling est chercheur au CSTB dont il devient directeur de la Recherche et du Développement, puis conseiller scientifique auprès du Président.

Auteur de 40 publications, participation à des ouvrages ou rapports scientifiques ; participation à de nombreux colloques et conférences internationaux, il a en particulier lancé la rédaction et l'édition par le CSTB d'une collection intitulée Traité de physique du bâtiment.

Jacques Rilling est Professeur Honoraire de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées et Chevalier de l'Ordre National du Mérite. Il est actuellement vice-président du Conseil International du Bâtiment, CIB, il est aussi membre du GIEC (Groupe International d'Étude du Climat).

**La construction intelligente  
en énergie ? Sciences,  
Technologies et Société**



**L**e sujet que nous allons traiter ici concerne l'avenir possible de la consommation d'énergie dans les bâtiments en vue de la réduire et d'ainsi diminuer les émissions de gaz à effet de serre.

#### QUELQUES CONSTATS EN TERMES QUANTITATIFS

La situation du secteur du bâtiment au niveau mondial est assez contrastée d'une région à l'autre. Entre les Etats-Unis qui sont les plus gros consommateurs et les pays en développement, le niveau n'est pas du tout le même. Pour le secteur du bâtiment, les consommations d'énergies représentent un tiers des émissions annuelles de CO<sub>2</sub> au niveau mondial. C'est un des plus gros, voire le plus gros émetteur mondial. Dans les cinq dernières années on constate au niveau mondial que cela continue à augmenter : 3 % par an dans les cinq dernières années, en valeur relative. On est passé de 28 à 33 % des émissions totales elles-mêmes en augmentation régulière de près de 2%

par an, et après le secteur des transports, le secteur des bâtiments est celui dont les émissions de CO<sub>2</sub> augmentent le plus vite. En énergie primaire, le bâtiment au niveau mondial, c'est 35 %<sup>1</sup>. Ce niveau est élevé ce qui fait du secteur l'un des plus gros consommateurs.

La situation française est un peu différente. Tout d'abord, on est vraiment à un très bon niveau dans le domaine des émissions de gaz à effet de serre pour le bâtiment : 20 %. Cela a quand même augmenté d'un peu plus de 1 % par an dans les dix dernières années en valeur absolue et cela représente de l'ordre de 44 % des consommations d'énergie finale. On n'est pas très loin des 50 % de consommation en énergie primaire.

Pourquoi 20 % des émissions alors qu'on a 44 % de consommations en énergie finale et 50 % en énergie primaire ? Simple-ment, parce que le fait d'avoir beaucoup de nucléaire en France fait que l'utilisation de l'électricité dans les bâtiments est couverte très largement à partir de l'hydraulique, du nucléaire et d'un petit peu de renouvelable

<sup>1</sup> L'énergie finale est celle que vous utilisez chez vous, mesurée par le nombre de kilowattheure consommés réellement. L'énergie primaire est le nombre de kilowattheure qu'il a fallu utiliser à partir de sources, par exemple fossiles, de l'hydroélectricité etc. pour transformer et amener jusque chez vous les kilowatts heures que vous consommez. On admet maintenant comme norme - il n'y en aura pas beaucoup - que pour l'électricité, un kilowattheure d'énergie finale correspond à 2,58 kilowattheures d'énergie primaire. C'est extraordinaire, car on accepte maintenant de compter le nucléaire dans l'énergie primaire alors que, jusqu'à présent, on essayait d'oublier que le nucléaire était aussi de l'énergie primaire qu'on transformait en énergie finale.

et marginalement par du pétrole, un peu de charbon et de plus en plus de gaz pour assurer les pointes de consommation. L'essentiel est assuré par le nucléaire qui n'envoie pas de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Donc on est dans une situation particulière qui a justifié le fait que, dans les engagements de Kyoto, la France était priée de maintenir ses émissions et de ne pas les laisser augmenter. Mais elle n'avait pas à faire de réductions, ce qui n'est pas le cas des autres pays d'Europe.

par individu. Cette tendance n'a pas permis de faire baisser les émissions alors que les moyens mis dans la construction neuve permettaient de la faire baisser *a priori*. Cela veut dire aussi qu'on n'a pas tout à fait investi autant qu'il aurait fallu dans les bâtiments existants.

En outre il y a une tendance qui n'est pas uniquement française, c'est que l'appareillage électrique, la consommation d'électricité est en croissance rapide et régulière, en France comme ailleurs.

Quelques données chiffrées donnent, en fonction des différentes régions du monde, les émissions de CO<sub>2</sub> liées à la quantité d'énergie primaire consommée, hors renouvelables, et les évolutions entre 1970/71 et maintenant. Les figures 1 et 2 montrent les évolutions dans les bâtiments entre 1971 et 2001 et leurs projections selon deux scénarios du GIEC jusqu'en 2030.

Quand on regarde l'Europe de l'Ouest, l'évolution n'est pas considérable. On est presque à niveau constant, même si on augmente légèrement presque tous les ans, de l'ordre de 1 %, mais on n'est pas en explosion. Les Américains sont moins bons. Et puis les pays en cours d'industrialisation qui consomment plus. Les Chinois, même s'ils ont réussi à faire baisser leur intensité énergétique de manière globale, continuent à augmenter leur consommation de manière considérable.

Pratiquement dans tous les pays du monde, les émissions de gaz à effet de serre du bâtiment augmentent. Or on sait construire maintenant des bâtiments qui sont trois à quatre fois plus performants, voire six, huit ou dix fois. Ils sont un peu plus chers. On sait les faire en Europe. Les Américains les font aussi tout en disant : « *Kyoto, je ne veux pas signer* ». Et en France, on commence à les faire après quelques années de retard par rapport à nos voisins européens.

D'où vient le fait que l'on continue à augmenter les consommations et les émissions, alors que les normes des nouveaux bâtiments s'améliorent tous les quatre ou cinq ans ? C'est qu'on construit plus qu'on ne détruit et que finalement, la surface occupée par habitant en moyenne augmente et que, de fait, on chauffe une surface plus grande

94

La

construc-  
tion intel-  
ligente en  
énergie ?

## TENDANCES

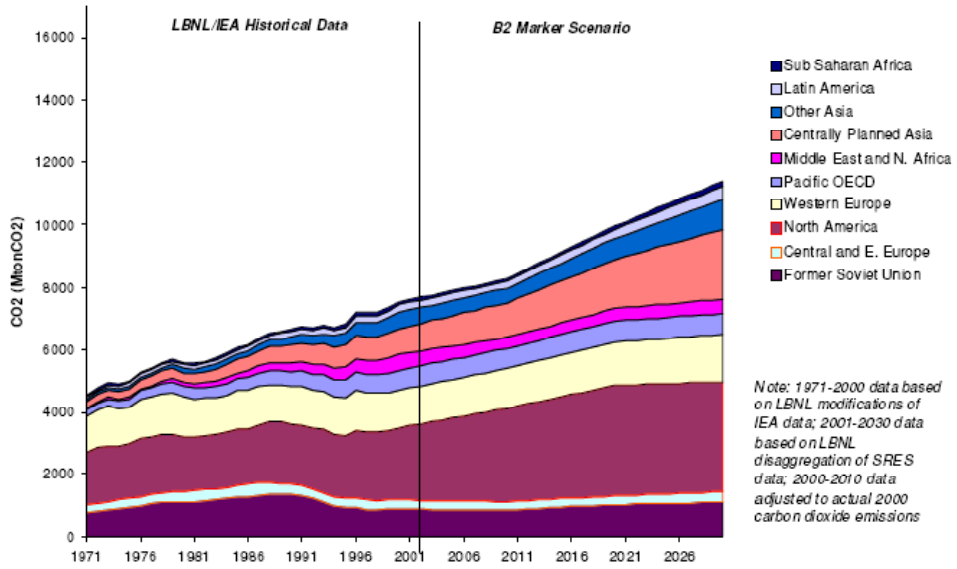


Figure 1 : Emissions de CO<sub>2</sub> résultant de l'utilisation d'énergie dans les bâtiments : scénario B2

Building Sector CO2 Emissions

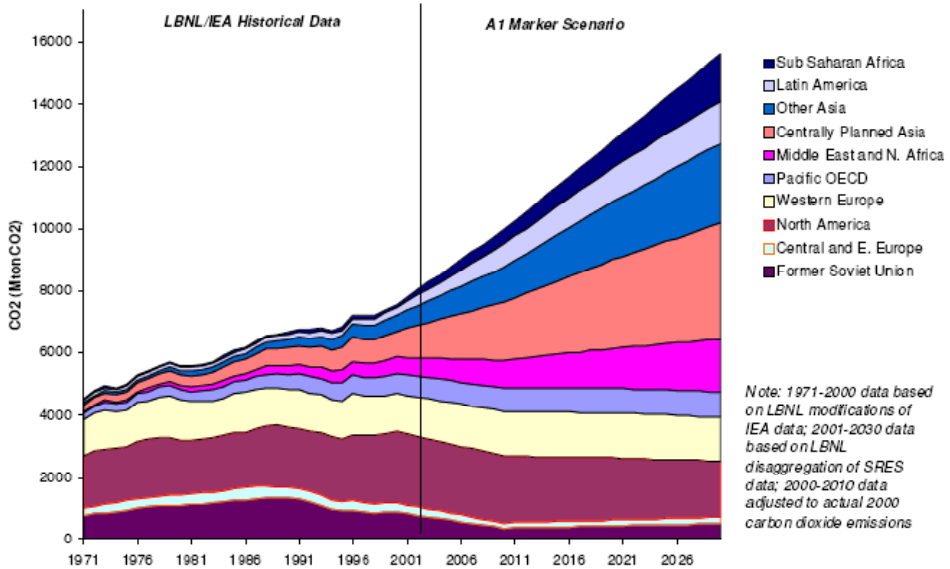


Figure 2 : Emissions de CO<sub>2</sub> résultant de l'utilisation d'énergie dans les bâtiments : scénario A1

De même pour la tendance des émissions de CO<sub>2</sub> liées aux bâtiments résidentiels. Cette tendance reste raisonnable en Europe mais elle est beaucoup plus forte dans le monde américain qui est en croissance assez régulière, l'Europe restant plus raisonnable. On voit aussi que le monde asiatique est en croissance un peu plus rapide que l'Europe.

La partie des bâtiments commerciaux, c'est-à-dire le tertiaire, est inquiétante pour certains pays asiatiques (industrialisés) et aux Etats-Unis. L'Europe reste à un niveau raisonnable, comparé à l'Amérique du nord. On a même réussi à diminuer en partie les quantités en émissions de CO<sub>2</sub>, par des sources d'électricité intelligentes. Et par le basculement du pétrole vers le gaz, ce que d'autres pays savent faire, et qui conduit pour la même quantité d'énergie primaire, à émettre moins de gaz carbonique. Mais au niveau des ressources en énergie on n'évitera pas le problème d'un pic du gaz comme il y a un pic du pétrole attendu. Il y aura simplement une dizaine d'années de décalage mais on se retrouvera devant le même piège. Le retour au charbon quant à lui interroge quant aux émissions de CO<sub>2</sub> car la capture et le stockage du CO<sub>2</sub> n'est encore pas économiquement réaliste.

Les évolutions en France des consommations d'énergie finale montrent que le résidentiel et tertiaire et les transports restent les deux plus gros consommateurs, le résidentiel et tertiaire étant le premier et les

transports le second. Et les tendances sont presque parallèles, ce qui n'est pas complètement sympathique. Tout cela ne diminue pas.

Quant à la répartition des consommations et leur évolution entre 1973 et 2003, dans le résidentiel comme dans le tertiaire, le pétrole qui était le gros combustible en 1973, (le fioul) est devenu beaucoup plus marginal. Il est quand même à 1/5 de la consommation dans les deux cas mais on a vu apparaître, une croissance considérable de l'électricité, encore plus nette dans le tertiaire et puis une croissance très importante du gaz qui est presque équivalente dans le tertiaire et dans le résidentiel. On constate que l'électricité est devenue un vecteur énergétique de plus en plus utilisé dans les consommations.

En 2004 pour les bâtiments résidentiels, le plus gros morceau est encore le chauffage avec 75 % des consommations ; la climatisation est encore marginale mais en croissance rapide; l'eau chaude sanitaire et la cuisson, c'est-à-dire les usages domestiques classiques restent aussi importants et surtout sont en croissance relativement forte. Cependant, pour le résidentiel, on est encore dans une logique où le confort thermique est la dominante.

Une question à propos des scénarios du GIEC<sup>2</sup> et du « facteur 4 ». En 2002, les émissions des bâtiments, s'élevaient à 7,85 gigatonnes (milliards de tonnes) de CO<sub>2</sub> au

96

La  
construc-  
tion intel-  
ligente en  
énergie ?

<sup>2</sup> Groupe Interdépartemental pour l'Étude du Climat

niveau mondial. Le scénario A1 du GIEC conduit à un doublement d'ici à 2050, ce qui n'est pas sympathique du tout. Mais le scénario B2 - qui est déjà plus raisonnable et on peut se demander si on arrivera à le faire - c'est quand même un passage de 7,95 à 11,1 GtCO<sub>2</sub>. On n'est pas tout à fait dans la ligne de ce qu'il faudrait pour arriver à ne pas dépasser les 2°C d'augmentation de la température moyenne mondiale en 2100 (que l'on n'aille pas au-delà des 550 parties par million en volumes de CO<sub>2</sub> équivalent dans l'atmosphère pour l'effet de serre).

En Europe on a dit que, pour éviter que les pays en développement soient sous des contraintes insupportables (ce qui est normal), ce n'est pas un facteur 2 qu'il faudrait mais le facteur 4. Un rapport au Sénat intitulé Rapport facteur 4, remis en juin 2006 analyse les possibilités dans ce sens en France. Cela ne veut pas dire vivre sans chauffage, sans eau chaude, sans lumière, sans télévision, sans Internet, car les technologies qui permettent un facteur 4 sur les émissions à effet de serre, sont déjà là. On peut en faire de meilleures plus efficaces mais il y en a de suffisamment efficaces pour que l'on puisse affirmer que : *« sur cette base, on peut avoir une efficacité réelle »*.

Evidemment se pose toujours la question des coûts. Pour une construction neuve, c'est de l'ordre de 10 % de surcoût de la construction proprement dite. Quand on examine ce qu'est le prix du terrain et ce qu'est le coût final pour acheter une maison

par exemple, on n'est plus à 10 %, on est plutôt à 3 ou 5 % de surcoût. C'est, en gros, le prix équivalent d'une voiture moyenne à payer en plus sur une maison neuve pour avoir une efficacité qui est quatre fois meilleure au niveau énergétique. Et on commence à entendre dire que dans quelques temps ce surcoût se rapprochera de zéro. Technologiquement parlant, on sait faire. On peut se poser la question de savoir si, avec ce genre de bâtiment, on ne va pas être dans un environnement intérieur abominable, insupportable ? Et bien non, on constate qu'à la fois on gagne en émission et on gagne en confort.

Quand on analyse le coût global actualisé incluant les coûts de construction et les coûts des consommations énergétiques sur quelques décennies, on constate que ce coût global pour ces nouveaux bâtiments devient inférieur à celui des constructions banales récentes. Le surcoût devient négatif !

Puisque l'on peut, pourquoi ne le fait-on pas ? Eh bien certains pays l'ont fait. Les logements Minergie Plus, une initiative suisse extrêmement intelligente, montrent qu'en ordre de grandeur, on a un surcoût de construction de 12 à 15 % pour des bâtiments beaucoup plus performants. L'élément supplémentaire sur lequel il faut insister ici, c'est que ces bâtiments Minergie Plus construits il y a quatre, cinq ou six ans sont revendus maintenant à peu près aussi cher, surcoût compris. Autrement dit, on rentre dans ses fonds au moment de la vente. On



a fait des économies d'énergie au passage et, on revend aussi cher qu'on avait acheté, donc ce n'est pas à coût perdu, c'est une affaire « gagnant/gagnant ». Alors qu'est-ce que nous attendons ? C'est le sens de mon discours. Des maisons en Scandinavie qui ont des performances qui sont cinq fois meilleures que la performance de base apparaissent comme des maisons banales, normales dans la tradition architecturale mais elles sont beaucoup plus performantes. On ne voit pas de différences de l'extérieur, on n'a pas l'impression d'avoir un objet invraisemblable. Même les Américains l'ont fait en lançant Zero Energy Home il y a déjà un certain nombre d'années, en Floride, en Californie, au Massachussets. Là non plus, on n'a pas franchement l'impression d'être dans un monde différent de ce qu'était le monde américain précédent. C'est l'Etat fédéral américain qui a porté le concept de Zero Energy : votre maison n'a pas besoin d'acheter de l'énergie, elle en a ; elle en produit un peu, elle en utilise suffisamment peu pour ne pas avoir besoin d'en acheter. Les maisons passives en Allemagne : les architectures sont un peu plus originales, ce ne sont pas les architectures de tout le monde, mais il y a aussi des bâtiments à l'air normal même s'il y a une façade vitrée un peu inhabituelle. Un cas intéressant à Fribourg, en Allemagne, qui va d'ailleurs au-delà de l'aspect purement énergétique, un quartier « habitat durable » dans une ville qui a des originalités en termes de transports, en termes de marche à pied, en termes d'agréments etc. qui sont bien au-delà

des performances des bâtiments. Voilà quelques ordres de grandeur du quartier Vauban à Fribourg pour les consommations dans l'habitat, tous usages de l'énergie inclus : quatre niveaux de consommation existent dans le quartier : 65kwh/m<sup>2</sup>/an, 55, 15 pour l'habitat « passif » et aussi 0kwh/m<sup>2</sup>/an ou même de l'électricité photovoltaïque à revendre pour « l'habitat positif ». A titre de comparaison, pour le chauffage en France, la réglementation thermique 2000 prévoyait des ordres de grandeur en chauffage et en eau chaude sanitaire, de 150 kilowattheures par mètre carré et par an, plus 40kwh/m<sup>2</sup>/an pour les autres usages : cuisine, appareils électriques. On a donc un saut considérable entre habitats passifs à 15kwh/m<sup>2</sup>/an et le 190kwh/m<sup>2</sup>/an de notre réglementation 2000.

Revenons à Minergie, une initiative suisse, un standard de qualité *a priori*, prévu pour tous les types de bâtiments. Cette démarche concerne l'habitat mais aussi pas mal de tertiaire voire de l'industriel (figure 3).

Les solutions retenues par Minergie pour obtenir ce résultat, c'est le solaire passif. La forme du bâtiment et son orientation sont importants, ainsi que le choix des matériaux, en particulier pour l'isolation. Pour la partie enveloppe, une forte isolation est nécessaire. On passe des 10 petits centimètres à l'intérieur des bâtiments en France actuellement, à 25 ou 30 cm d'isolant à l'extérieur. Un autre élément très important,

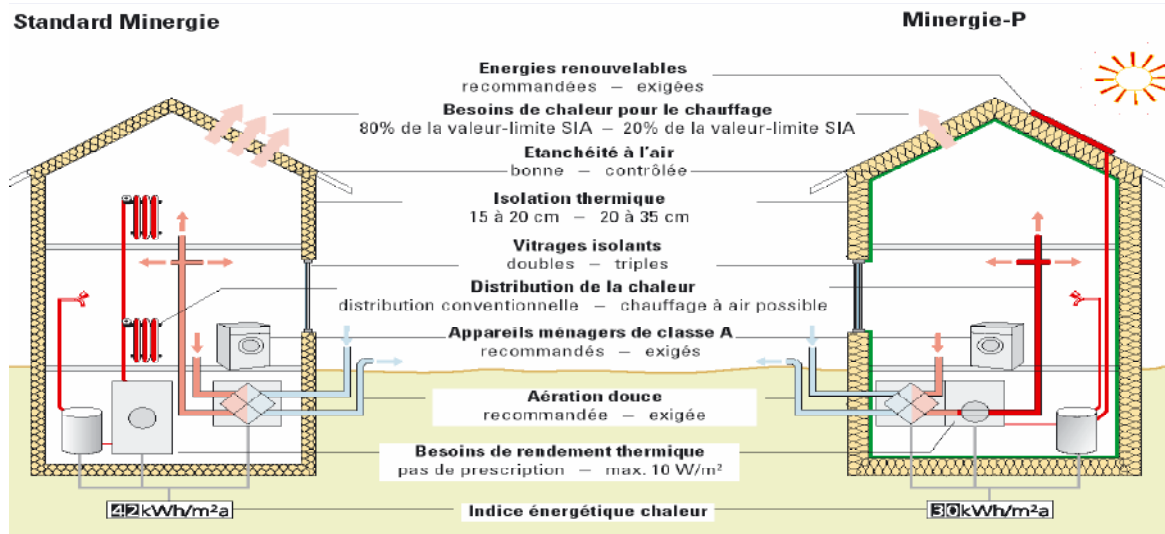


Figure 3

c'est d'avoir de bonnes fenêtres. Et puis il y a la notion d'étanchéité à l'air, c'est-à-dire d'éviter qu'il y ait un renouvellement d'air excessif et non contrôlé, que l'air froid entre et qu'il ressorte de l'air chaud et que l'on ait perdu la chaleur correspondante. Il faut insister sur l'aération parce qu'on n'en a pas souvent la perception et que l'étanchéité est en train de s'installer dans un certain nombre de pays comme une obligation. En France, pour les bâtiments qui ont été construits depuis une bonne trentaine d'années, on a le principe d'une ventilation mécanique contrôlée, VMC, qui consiste à avoir de petites entrées d'air calibrées dans les fenêtres, à aspirer l'air frais de l'extérieur qui après avoir ventilé la maison est soufflé à l'extérieur par un ventilateur. Finalement, on aspire de l'air froid à l'extérieur à travers les fenêtres et puis on souffle de l'air chaud

par la sortie. Certains se sont dit : « on doit pouvoir faire mieux ». Alors on a inventé, il y a déjà longtemps, ce qu'on a appelé le double flux. C'est-à-dire que l'air froid qui entre, au lieu d'entrer par les petits aérateurs des fenêtres, entre par un tuyau. Il croise l'air chaud sortant dans un échangeur de chaleur et il rentre à nouveau à l'intérieur presque à la température intérieure, et l'air qui ressort est presque à la température extérieure. En faisant cela, on économise facilement 80 à 85 % de la perte de chaleur liée à la ventilation. C'est un concept obligatoire dans un certain nombre de pays maintenant. En Hollande, quand on rénove un bâtiment, on installe un double flux. Dans le nord de l'Europe, il y a bien longtemps que l'on utilise des doubles flux et il y a beaucoup d'endroits, maintenant, où c'est devenu une installation banale. En France, c'est encore relativement rare mais c'est en train d'arriver.

100  
|  
La  
construc-  
tion intel-  
ligente en  
énergie ?

En France s'est créé un collectif qui s'appelle Effnergie. Le CSTB<sup>3</sup> en fait partie, avec un certain nombre de partenaires intéressés dont les structures bancaires, la Caisse des Dépôts et Consignations mais aussi les Banques Populaires, etc. La région Alsace s'illustre par une dynamique particulièrement forte dans ces domaines. C'est la proximité avec l'Allemagne qui peut-être veut cela. Mais aussi à Saint-Priest existe un bâtiment très performant : la toiture a 400 mm d'isolant, et les murs 250, et on a des triples vitrages. Chauffage, ventilation, double flux thermodynamique. Qu'est-ce que c'est qu'un double flux thermodynamique ? C'est un double flux qui au lieu d'utiliser un échangeur qui récupère la chaleur, prend la chaleur de l'air chaud par une pompe à chaleur (donc prend plus de chaleur à l'air chaud que ce qu'il a reçu lorsqu'il est entré dans le bâtiment) et récupère cette précieuse chaleur soit pour l'injecter dans le bâtiment par ventilation pour le chauffage soit éventuellement pour alimenter le réservoir d'eau chaude pour l'eau de salle de bains. Si en plus on conçoit le système astucieusement pour que la pompe à chaleur puisse fonctionner de manière réversible on pourra rafraichir la maison l'été en réchauffant l'air renvoyé vers l'extérieur. Dans une ou deux décennies cela pourrait devenir très utile, canicules obligent.

Ces démarches peuvent aussi s'appliquer à la réhabilitation de logements existants. Ailloz Energie a conduit en 1999 la rénovation d'une dizaine de maisons construites

dans les années soixante en Alsace et en Suisse et a atteint des niveaux de besoins de chauffage de 25 kilowatts-heure/m<sup>2</sup>/an. En outre pour ces maisons on commence à raisonner en énergie primaire. Autrement dit, il y a des gens qui maintenant commencent à s'approprier le fait que de calculer seulement en énergie finale, si on se chauffe à l'électricité, est très insuffisant.

Venons en à ce qu'est la notion de puits canadien et de géothermie.

Le concept de « puits canadien » apparaît sur le schéma suivant :

Ce schéma fait apparaître une idée en train de se développer en pratique dans des bâtiments de plus en plus nombreux. Au lieu de faire entrer l'air de ventilation directement dans le bâtiment on le fait cheminer dans un tuyau qui circule dans le sol et qui, comme c'est un tuyau de plusieurs dizaines de mètres de long, fait échangeur thermique avec le sol. Quand il fait chaud l'été, la température à 1,50 mètre ou 2 mètres de profondeur dans le sol n'est pas encore élevée. Une petite élévation apparaîtra par contre en hiver quand il fera froid à l'extérieur. Tout au long de l'année la température oscille avec une faible amplitude autour de la température moyenne de l'air sur l'ensemble de l'année. On a quelque chose qui est plutôt aux alentours de 15°, la température d'une bonne cave. Cela permet en été de refroidir l'air chaud lorsqu'il passe dans le tuyau, et de réchauffer l'air froid l'hiver en passant

<sup>3</sup>Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

28 mars 06

## Plate-forme Maison Passive

### Maison passive

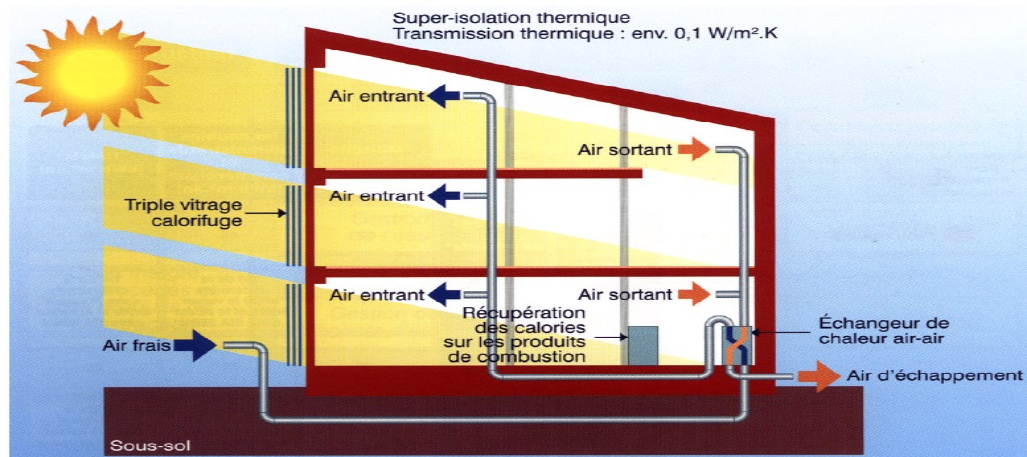


Figure 4

dans le tuyau. On appelle cela le puits canadien par référence à ce qui était un système utilisé au Canada. Certains se battent pour dire « puits provençal » parce que cela existait en Provence autrefois et on avait oublié que cela existait.

On a parlé à plusieurs reprises de **maison passive**, et le schéma ci-dessus l'illustre clairement. Qu'est-ce que veut dire maison passive ? C'est une maison, un bâtiment qui, d'une manière générale, utilise intelligemment le soleil qui entre lorsqu'il y a du soleil et limite le soleil qui veut entrer quand il fait trop chaud. C'est-à-dire que l'on utilise intelligemment l'orientation et les surfaces des fenêtres avec des systèmes d'occul-

tion ou de non-occultation, éventuellement avec des fenêtres dont la caractéristique de transmission lumineuse peut varier pour arriver à faire entrer au mieux la chaleur quand on en a besoin et à ne pas la laisser entrer lorsqu'on ne la veut pas; on sait faire maintenant de tels vitrages avec les technologies de l'électro-chromique et du photochromique, c'est-à-dire des vitrages revêtus d'une couche très mince, transparente et active, faite d'un mélange d'oxydes métalliques réactifs de façon réversible à la lumière ou à une petite différence de potentiel électrique commandée par un dispositif régulateur. On peut ajouter, et là c'est essentiellement dans le neuf mais on peut en faire aussi dans l'existant, du photovoltaïque, et

de la géothermie. On a depuis une bonne dizaine d'années, un concept qu'on appelle la géothermie superficielle : avec des tuyaux à quelques mètres de profondeur, ou une sonde verticale de quelques dizaines de mètres de profondeur, on peut aller pomper de la chaleur (avec une pompe à chaleur, bien sûr) dans le sol. Ce qui fait que cela refroidit le sol et puis l'été, lorsqu'on veut rafraîchir, on va récupérer la fraîcheur que l'on a mise dans le sol pour la remettre à l'intérieur de la maison. Ce concept-là se développe mais pas aussi vite qu'on aurait pu le penser malgré des aides en termes de crédits d'impôts, par exemple, en France.

Revenons à une question clef qui est celle de la **rénovation**. Il s'en fait de plus en plus un petit peu partout. On en fait beaucoup dans tous les pays d'Europe, progressivement. Par exemple le Danemark a été un des précurseurs dans le domaine énergétique, celui qui finalement a poussé la directive européenne « Performance énergétique des bâtiments » en train d'entrer en application en France, après avoir été mise en place en Europe à la fin 2002. Mais dans le domaine de la réhabilitation il est assez difficile de collecter les informations même au niveau international parce qu'elles ne circulent pas de manière complètement banale. Voici quelques données sur une opération à Mulhouse (comme par hasard, on se retrouve encore en Alsace), une action menée par la ville de Mulhouse dans le domaine de l'énergie, sur des rénovations : les performances vont vers 50 kilowattheures d'éner-

gie primaire par an alors que nous étions avant à 400/500 kilowattheures par mètre carré et par an dans le bâtiment qu'ils rénovent. C'est un facteur 8 à 10. Et cela sans massacrer l'architecture extérieure. Finalement, ces bâtiments n'étaient pas isolés, alors on met 30 centimètres de laine de verre dans les combles. Dans les murs, on met une quinzaine de centimètres. Les fenêtres, la performance c'est 1,1, (ce qui veut dire 1,1 watt par mètre carré par degré : c'est la perméabilité thermique d'une vitre par mètre carré et par différence de température). Une fenêtre banale avec de simples vitrages comme on faisait autrefois, c'est 5,5. Là, nous sommes à 1,1 donc un facteur 5. Ensuite, on a décidé des choses intelligentes en termes de chaudière à condensation, chauffe-eau solaire etc.

Il s'est construit aussi un partenariat par le moyen d'une association entre la firme allemande BASF et l'organisme de logement social LOGIREP à Fontenay-sous-Bois, tout près de Paris. C'est un bâtiment qui a un classement historique et on va faire une réhabilitation avec probablement un facteur de l'ordre de 3 à 4 en performance énergétique (mais il n'est pas encore fait). Une isolation par l'extérieur assurera néanmoins pratiquement le maintien de l'aspect initial du bâtiment, avec ses modénatures de façade, en l'occurrence typiques des architectures Hausmaniennes. Donc cela veut dire que même sur des bâtiments existants avec une architecture que l'on a envie de garder, on peut intervenir intelligemment et faire

des choses performantes. Le prix final n'est pas encore connu car ce n'est pas encore complètement fait.

On parle aussi - et c'est BASF qui promet cela - de la modernisation de ce qu'on appelle « la maison trois litres ». Ce n'est pas inintéressant. Trois litres, c'est un ordre de grandeur. C'est 30 kilowatts-heure par mètre carré et par an. Car un litre, c'est un litre de pétrole qui produit 10 kilowatts-heure. Cela veut dire que BASF et d'autres s'approprient l'idée que l'on peut aussi faire des maisons en rénovation à 30 kilowatts-heure par mètre carré et par an.

Les technologies, elles, s'améliorent tout le temps. Une illustration avec les fenêtres : on était aux environs de 5,5, en performance (coefficient de pertes thermiques) pour les fenêtres il y a quarante ans. On arrive maintenant de manière bientôt banale aux environs de 1, avec en particulier des triples vitrages et des surfaces de verre avec couches sélectives, et on voit apparaître de façon très claire pour les futurs éléments du marché, des choses qui seront très en dessous de 1 avec des technologies qui sont bien sûr plus chères au début. Mais dans la mesure où on baisse fortement les pertes, cela devient intelligent.

Ces vitrages de coefficient peu supérieur à 1 commencent à être commercialisés assez facilement en Allemagne plus qu'en France parce que les Allemands y sont plus sensibilisés. Et on commence aussi à

voir apparaître des technologies imaginées il y a 20 ans qui sont les vitrages sous vide. Ils ne sont pas tout à fait transparents pour beaucoup de raisons mais ils apporteront un facteur de performance supplémentaire de 2, ce qui va permettre de passer à un coefficient de 0,5, donc un facteur 10 par rapport aux fenêtres anciennes !

Une idée amusante et relativement récente ce sont des matériaux à changements de phase, phase change materials, PCM dit-on couramment. En mettant de petites particules, en fait des petits globules fermés qui contiennent de la paraffine avec une composition convenable, on peut faire en sorte que leur incorporation dans du plâtre fasse qu'une plaque de plâtre de 2 cm d'épaisseur soit équivalente à un mur courant en inertie thermique. Comment ?

Si cela a été bien dosé, si la fusion de la paraffine dans la particule est autour de 22/23°, alors quand il fait plus que 22°, le mur, grâce à la fusion de la paraffine absorbe la chaleur à température constante jusqu'à ce que toute la paraffine ait fondu. Donc il empêche la température de monter et, au contraire, lorsque la température a tendance à baisser, cela se resolidifie dans les particules en question et relâche de la chaleur. Donc cela atténue les variations de température et permet de faire une économie d'énergie, puisqu'on utilise l'inertie comme procédé de stockage pour atténuer les variations jour/nuit. C'est un produit encore relativement cher, en cours de com-

mercialisation par BASF et qui sera utilisé dans l'immeuble de Fontenay-sous-Bois. Le surcoût au départ dans une maison banale est de 3 500 euros d'investissement. Si ce système fonctionne 300 heures par an, en cinq ans il est amorti et, après cela, on est gagnant. En plus, on est gagnant en confort puisque les variations de température intérieure sont atténuées. C'est en fait un substitut efficace à ce qu'on appelle l'inertie thermique des structures en maçonnerie. Et la mise en œuvre en est simple.

Abordons les **systèmes intégrés**, ainsi qu'on les appelle. Ce sont des systèmes d'équipement où à la fois on chauffe, on récupère de l'énergie, on utilise du solaire, on chauffe un gros ballon d'eau chaude qui sert de stockage et/ou le ballon d'eau chaude sanitaire et où on a l'arrivée d'air extérieur qui passe dans le sol etc. Les systèmes intégrés, intelligemment conçus, on sait les faire. Cela coûte un peu plus cher que les procédés banalisés mais c'est très efficace. Le problème actuellement est qu'on ne sait pas nécessairement au niveau de l'artisan du quartier les concevoir et les installer. Il y a un gros enjeu futur dans une formation permanente plus importante pour l'artisanat du bâtiment, et dans une information pertinente et facile à trouver pour le client.

Pour sourire voici un exemple vécu à propos de la géothermie superficielle, avec un forage vertical que l'on sait faire maintenant à un tarif raisonnable. Expérience faite : j'ai demandé à un point Energie de l'ADEME à

qui il fallait s'adresser pour trouver un fournisseur. Ils m'ont répondu : « *On ne sait pas bien, adressez-vous à un fabricant de pompe à chaleur* ». Si on veut savoir, ce n'est pas évident. Autrement dit, notre système français a des faiblesses. Comme on dit en économie, les coûts de transactions sont élevés, et c'est un obstacle majeur à la prise de décision du citoyen de base.

Une autre dimension que le titre de la conférence laissait peut-être imaginer comme la plus importante. On sait maintenant faire des automatismes, des systèmes qui permettent d'échanger (y compris par ondes, sans fils) avec un capteur dans un mur, la mesure de la température, la mesure d'un débit d'air etc. pour faire une régulation automatique. On a des possibilités considérables qui ne sont même pas très chères mais pour lesquelles le consommateur est mal à l'aise et se dit : « *Est-ce que j'achète cela ?* » Et puis il n'y a pas beaucoup de professionnels qui savent le mettre parfaitement en place. Et on revient au paragraphe précédent.

Une pratique très intéressante, réapparu dans des études récentes, est ce qu'on appelle couramment le *commissioning* (on n'a pas un très bon terme français). Si vous avez un bâtiment, en particulier un bâtiment tertiaire un peu compliqué en fonctionnement etc., il y a de très bons professionnels qui peuvent venir l'analyser, le régler, ajuster, etc. pour faire que cela ne surchauffe pas ici, que cela ne surventile pas là etc.. On s'aperçoit qu'entre un bâtiment qui n'est pas

104

La  
construc-  
tion intel-  
ligente en  
énergie ?

surveillé, qui n'a pas été vraiment contrôlé et un bâtiment sur lequel on fait vraiment sérieusement ce travail-là, les ordres de grandeur d'économies d'énergie, c'est 20 à 30 %. Cela ne consiste pas à investir beaucoup, cela consiste à avoir un bon professionnel qui vient faire un très bon travail et qui tous les ans, repasse pour vérifier que tout fonctionne bien etc. Les Anglo-Saxons ont vu cela plus que nous, les Américains le pratiquent couramment, les Anglais aussi. C'est en train de venir en France mais cela a été un peu long alors que c'est presque une évidence. En fait en France l'offre existe mais est peu répandue car il n'y a pas beaucoup de demande ; problème de poule et d'œuf !

**Les bâtiments autonomes à énergie positive.** C'est un concept récent, émergent pourrait-on dire. De quoi s'agit-il ?

- C'est d'abord un bâtiment réalisé après un processus de conception intégrée. C'est-à-dire qu'on conçoit l'ensemble du bâtiment d'une manière extrêmement cohérente et intelligente et non pas par petits morceaux en ajoutant ceci et en enlevant cela. Un système passif permet d'avoir des besoins de chauffage pas très élevés, peut-être pas très loin de zéro. Si on intègre la chaleur des occupants, il est possible que l'on n'ait pas besoin de chauffage du tout ou presque pas. On peut avoir du photovoltaïque (on voit que le photovoltaïque revient en réseau local) et c'est en train de se développer dans certaines villes nord-américaines et en Allemagne.

- Bien sûr, on ne doit utiliser que des dispositifs d'éclairage et des appareils électriques très performants. Cela existe déjà dans le commerce, ce n'est pas encore complètement obligatoire mais c'est très intelligent à faire et on y arrivera.

- On peut stocker de la chaleur, piloter de façon optimale, c'est ce que je disais tout à l'heure.

En fait, on a déjà tout cela. La question est d'arriver à quelque chose qui ne crée pas des surcoûts complètement inacceptables. Pour l'instant, on est peut-être entre 20 et 40 % quand on veut arriver jusqu'à l'énergie positive. C'est encore un peu dissuasif mais on peut imaginer qu'à l'échelle de 5 à 10 ans, on ait du bâtiment positif à des tarifs d'un surcoût de 15 %, revendable au même prix comme on l'a vu en Suisse pour Minergie Plus. Le PREBAT, programme récent de l'Agence nationale de la Recherche associée à l'ADEME et au Plan Urbain, Construction et Architecture, le PUCA, soutient le développement de recherches dans ce sens.

Un mot sur **un concept encore peu pratiqué dans la conception des bâtiments, et que l'on appelle l'exergie** et dont l'application au bâtiment a fait l'objet d'un groupe de travail de l'Agence Internationale de l'Energie : l'idée est qu'une quantité d'énergie n'a pas la même valeur d'usage suivant qu'elle est très chaude, peu chaude ou que cette énergie est de l'électricité. Tout le monde le sait intuitivement.



Il y a une manière de mesurer cette valeur d'usage par une grandeur physique appelée exergie, sachant qu'un kilowattheure d'électricité vaut 1kwh d'exergie mais qu'un kilowatt-heure d'énergie chaleur à 1000°C vaut moins d'un kilowatt-heure d'exergie, mais vaut beaucoup plus en exergie que le kwh de chaleur à 30°C. Progressivement on arrive à l'injonction : « n'utilisons surtout pas, ne continuons surtout pas à utiliser de l'électricité pour chauffer avec un radiateur électrique ». On fait cinq fois mieux avec une pompe à chaleur !

Une autre méthode qui se développe de manière assez forte et qui va aussi entrer dans la logique du bâtiment à énergie positive : la cogénération. La cogénération, cela consiste à ne pas avoir une chaudière d'un côté et à être, de l'autre, branché sur l'électricité à l'extérieur, mais à avoir un appareil qui sert de chaudière comprenant un moteur à gaz, par exemple une micro turbine, un système un peu plus compliqué qui permet de produire de l'électricité à partir de la chaleur que le gaz ou le pétrole ou du bois libèrent en brûlant. En ordre de grandeur, 1 kilowatt-heure de gaz ou de bois donne 0,3 kilowatt-heure d'électricité et 0,7 kilowattheure de chaleur. Si en plus j'utilise intelligemment cette électricité avec une pompe à chaleur géothermique, je transforme ce kilowattheure de gaz initial en 2,2 kilowatts-heure de chaleur. Or ce raisonnement qu'on ne voit pas de manière courante, est banal pour un physicien. Quand on arrivera à convaincre de cela à une échelle convenable,

le jeu va changer. En plus, et c'est en train de se développer dans plusieurs régions en France, si on utilise de la biomasse comme combustible on amplifie son efficacité énergétique tout en restant neutre en émissions de CO<sub>2</sub>. Il pourrait y avoir là un bel avenir complémentaire de notre parc nucléaire.

#### **CONSIDÉRATIONS DU DOMAINE DE L'ÉCONOMIE ET DE L'ÉCOLOGIE POLITIQUE**

Premier point : des technologies sont commercialement disponibles, qui peuvent beaucoup diminuer la consommation d'énergie et les émissions. Malgré cela, la performance des systèmes que l'on utilise actuellement dans les bâtiments est bien moins bonne sur le plan économique en coûts actualisés que ce que l'on pourrait faire en achetant et en mettant en place des systèmes plus modernes, plus performants etc. Autrement dit, on a les technologies mais on ne les utilise pas aussi largement que ce que le marché pourrait permettre de le faire. Une plaisanterie stupide, mais qui était un commentaire dans une publication américaine récente : pourquoi est-ce que les grandes entreprises américaines n'investissent pas dans la performance énergétique de leurs bâtiments de bureaux? Parce que le coût de l'énergie dans le fonctionnement de l'entreprise, c'est à peu près le même ordre de grandeur que le coût du café et des petits

106

La

construc-  
tion intel-  
ligente en  
énergie ?

gâteaux pour le personnel ! Donc il y a un problème de prise de conscience et un besoin d'éducation des consommateurs.

Deuxième point qui n'est pas négligeable du tout, c'est que même quand les gens sont motivés, arriver à trouver la bonne solution, les bons interlocuteurs, ne pas avoir l'impression que l'on se fait vendre n'importe quoi par un partenaire extérieur professionnel, c'est un vrai problème dans le secteur de la construction. Plus que d'autres secteurs compte tenu de sa structure, ce que l'on appelle la fragmentation du marché ; beaucoup de professionnels pourraient peut-être le faire mais finalement ne se forment pas, ne sont pas prêts etc... Ils ne sont pas plus intéressés que cela, donc, on ne passe pas à l'acte.

Des moyens d'action et des outils ont été mis en place dans beaucoup de pays pour changer : d'abord les normes mais aussi des réglementations, des labels, qui se disséminent de plus en plus, et puis les incitations aux audits énergétiques, le *commissioning*, etc. On a vu se développer cela un peu en Europe, on le voit beaucoup aux USA et au Japon depuis cinq à dix ans. Finalement, les Américains ont fait plus de labellisations que nous dans beaucoup de domaines. Mais malgré cela, le dérapage des émissions continue !

Néanmoins, selon un panel d'experts, on estime qu'on serait capable de faire très facilement, et de façon très efficace au niveau

économique général, 30 à 40 % d'économie par rapport à la projection à l'échelle d'une vingtaine d'années, vers 2030. Cela veut dire que tout est là, disponible. C'est économiquement intelligent mais on ne passe pas à l'acte.

La situation en France est très semblable à ce qui vient d'être décrit avec un marché très éclaté et des coûts de transaction élevés. En France, on réglemente mais on va très peu vérifier sur le terrain si la réglementation a été mise en place. On a de moins en moins vérifié dans les 20 dernières années que ce qui se passait sur le terrain était correct par rapport à ce qui était réglementaire. Or on a des remontées informelles qui semblent montrer que la performance réglementaire n'est pas atteinte dans peut-être plus de 30 % des cas. On a cependant réussi à mettre en place la marque « NF maison individuelle » le label « haute qualité environnementale, HQE » des bâtiments ; ces systèmes de label font que là, on a un système de contrôle et que ce système de contrôle assure mieux le résultat. Mais il est vrai qu'on est encore à une échelle marginale sur le marché.

Des éléments positifs récents : une réglementation de 2005 qui va s'appliquer en 2006. Elle fait référence cette fois-ci aux énergies primaires, ce que ne faisaient pas les réglementations précédentes, mais pas encore au CO<sub>2</sub> comme le font les Anglais, qui sont plus réalistes que nous dans ce domaine. On va installer cette année un diagnostic

de performance énergétique des bâtiments, obligatoire pour les nouveaux bâtiments et pour les bâtiments existants en situation de changement de propriétaire. Cette démarche va au moins donner clairement à voir la performance.

On met en place aussi en 2006 les certificats blancs : un distributeur d'énergie a l'obligation d'aider ses clients à investir suffisamment pour économiser une certaine quantité d'énergie et d'émissions de CO<sub>2</sub>. S'il peut faire la preuve que des investissements ont été faits et qu'une certaine quantité d'économies en découle, il est dédouané. S'il n'a pas réussi à faire tout cela il doit payer à l'Etat quelque chose, en compensation du fait qu'il n'a pas réussi à le faire ; il peut aussi acheter à un autre énergéticien des certificats que l'autre lui vend puisqu'il en a fait plus qu'il ne devait. On est dans une logique de marché à propos de ces certificats d'efficacité énergétique. Et puis, on met également en place des crédits d'impôt.

Ce qui est aussi en train d'apparaître de manière très importante aux Etats-Unis, alors que c'est la France qui l'avait créé, il y a 30 ou 35 ans en particulier après le premier choc pétrolier, c'est le contrat de performance énergétique. C'est une prestation de services qui n'est pas nécessairement proposé par le fournisseur d'énergie mais qui peut l'être par un prestataire de services d'entretien etc. Ce système-là, a été pratiqué en France, (il existe une association rassemblant les professionnels de cette

spécialité, l'AG3E). On l'a vu ensuite se développer beaucoup plus vite aux États-Unis et dans d'autres pays d'Europe que cela ne s'est développé en France. Il y a donc un potentiel important de ce côté-là, qu'il faut arriver à relancer.

On a un vrai problème qui est celui de l'information des propriétaires pour réduire ce que l'on appelle l'assymétrie d'information, y compris sur les aides publiques. On a un problème de formation des citoyens, d'une banalité courante dans l'habitat. On a un vrai problème de formation des artisans, des petites entreprises du bâtiment. On a un problème probable de formation, sur le diagnostic de performance énergétique parce que, pour les ventes de bâtiments, il va se mettre en place à la fin de l'année 2006 alors qu'on ne saurait affirmer que qui que ce soit y soit déjà formé (les décrets ne sont pas encore sortis, les arrêtés ne sont pas encore sortis définitivement).

Un des problèmes est : comment va-t-on payer ces formations ? Cela ne saute pas aux yeux. Il existe un certain nombre de suggestions pour trouver un moyen d'aider en particulier le secteur professionnel à ne pas être en retard de 10 ans et à ne pas se demander : « je vais attendre de voir si les autres s'en servent pour voir si j'ose l'utiliser », de peur de prendre un retour de flamme quand ça rate.

Voici en forme de conclusion, un Pentagone. Je vais utiliser le pentagone pour

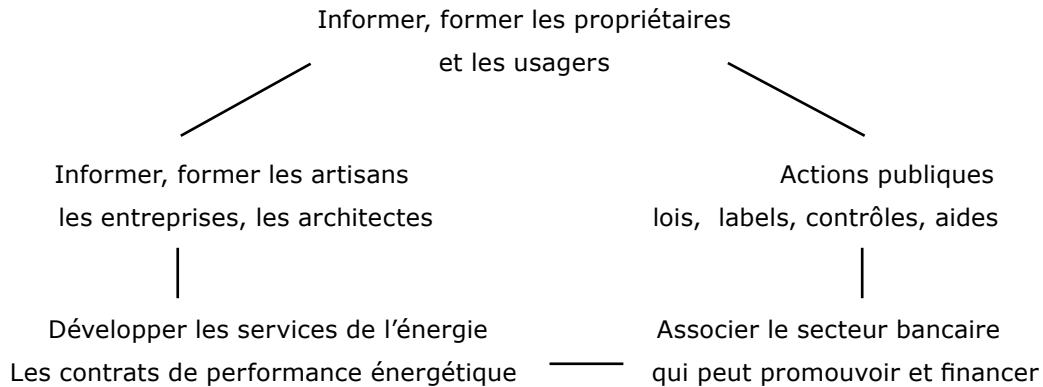
108

La  
construc-  
tion intel-  
ligente en  
énergie ?

plaisanter un peu mais il faut agir, informer, former les propriétaires. Associer le secteur bancaire, d'autres pays savent le faire beau-

coup mieux que nous. Alors on peut aller jusqu'à l'hexagone si on ajoute les actions territoriales comme on les voit émerger.

### LE PENTAGONE POUR AGIR



#### Remarque en forme de conclusion :

Dans le domaine des transports, le passage à un système de transports qui ne consomme plus (beaucoup) de pétrole en raison des difficultés que l'on va rencontrer dans l'approvisionnement en fluides énergétiques (qui par ailleurs émettent beaucoup de CO<sub>2</sub>) n'a pas de solution technologique qui ne soit pas vraiment très coûteuses, très lourdes et très difficiles à mettre en place. On a en revanche dans le bâtiment toutes les solutions sous la main. Faire cet effort pourrait aider les transports à prendre le temps et faire l'effort pour changer leur système. Mais,

curieusement, on n'y arrive pas. Il y a un problème d'invention d'une gouvernance et d'un système économique qui permettent de le faire. Il faut que l'on s'approprie positivement cela et qu'on accepte, chacun d'entre-nous d'investir le prix d'une voiture de taille moyenne, dans une amélioration significative de sa maison. C'est intelligent mais aussi difficile à faire.

Il n'y a pas beaucoup de science nouvelle dans ce projet car on sait presque tout. Le problème est de mettre en place et de faire.

**Jacques RILLING**

*Conseiller scientifique auprès du Président  
du Centre Scientifique et Technique  
du Bâtiment - CSTB*