



LES RENCONTRES SCIENTIFIQUES
— COLAS —

Les Rencontres Scientifiques Colas

« Vers des bâtiments producteurs d'énergie »

14 décembre 2006

avec **Bernard SESOLIS**,
Ingénieur à TRIBU-ENERGIE

et **Joseph VIRGONE**,
Chercheur à l'INSA Lyon

*Conférence-débat animée par **Mathieu NOWAK***
Journaliste à La Recherche

Il est désormais possible de construire des bâtiments qui ont un bilan annuel d'énergie positif. Allemagne, Etats-Unis, Japon, Suisse en sont au stade de la réalisation et ce, pour certains, depuis près de 10 ans. Qu'en est-il en France ? Y a-t-il encore des verrous technologiques ou psychologiques à lever ? Que peut apporter la recherche sur le sujet ? Partant notamment de ces questions, les conférenciers décriront la dynamique actuelle de ce sujet d'actualité.

Intervention de Monsieur Joseph Virgone

Joseph Virgone, chercheur à l'INSA de Lyon, est spécialiste en thermique du bâtiment. Il présente les travaux de recherche effectués au sein du CETHIL, centre de thermique de Lyon rattaché à l'Université Claude Bernard Lyon I.

Son laboratoire a été sollicité par l'industriel Dupont de Nemours pour concevoir un matériau dit à « changement de phase ». L'équipe du laboratoire travaille sur cette technique depuis 3 ans, d'abord sur le plan numérique afin d'analyser l'efficacité théorique du système et de l'optimiser, et sur le plan expérimental.

On verra que cette innovation présente un double intérêt pour le secteur du bâtiment, soumis à l'impératif du « facteur 4 »¹, avec d'une part, l'obtention d'économies d'énergie et d'autre part, l'augmentation du confort des usagers.

Commençons par un bref rappel du contexte. Les bâtiments construits avant 1974 représentent 60 % du parc immobilier français actuel et ils consomment, en moyenne, 350 kWh/m²/an (chauffage + eau chaude sanitaire). L'objectif à l'horizon 2050 est de concevoir des bâtiments avec une consommation moyenne de 50 kWh/m²/an, soit une économie de 82 %.

La « maison économe », avantages et inconvénients du modèle

Il existe aujourd'hui des expériences qui tendent à se généraliser en Allemagne mais aussi en France autour de maisons réputées très économes. Ce concept dépasse même les objectifs de 2050 puisque la maison à basse énergie consomme 30kWh/m²/an.

Ce type de maison nécessite néanmoins des investissements très importants, principalement en matière d'isolation thermique, avec une couche d'isolant de 20 cm d'épaisseur au niveau des murs et de 40 cm au niveau de la toiture. Ce sont donc des maisons fortement isolées qui bénéficient au surplus d'autres améliorations techniques comme la ventilation double flux² et le triple vitrage.

En raison de ces épaisseurs importantes de la couche isolante, les architectes et les promoteurs se tournent vers un bâti à très faible inertie. On aboutit donc à des maisons à structure en bois pourvues d'une importante épaisseur d'isolation mais avec très peu d'épaisseur de structure.

Quels sont les inconvénients de ce modèle ? Ils résident avant tout dans le risque d'inertie quasi nul. Il entraîne en effet un risque de surchauffe en été et une surconsommation de climatisation. **On perd donc en dépense climatique l'été ce qu'on gagne en dépense de chauffage l'hiver.**

Une solution : le matériau à changement de phase (MCP)

La solution du matériau à changement de phase vise donc à améliorer l'inertie par l'utilisation de matériaux minces. On va être en mesure d'accumuler la chaleur le jour et de la restituer la nuit. Ce qu'est incapable de réaliser une structure légère car il n'y a pas de masse thermique susceptible d'accumuler de la chaleur ou de la restituer.

¹ Il s'agit de l'objectif d'une division par quatre des émissions de gaz à effet de serre des pays occidentaux d'ici à 2050.

² Système faisant rentrer l'air dans un système de récupérateur de chaleur afin d'éviter la déperdition d'énergie causée par la ventilation.

Le phénomène de stockage/déstockage de chaleur

Pendant la journée, l'air ambiant devient plus chaud que la structure inerte, c'est donc la structure qui va refroidir l'air car le flux de chaleur suit les gradients thermiques. La nuit, la structure est plus chaude que l'air et le réchauffe. C'est le phénomène de « stockage/déstockage de chaleur ».

Le matériau à changement de phase commercialisé par Dupont de Nemours vise précisément à tirer parti de ce phénomène. On encapsule 60% de matière active à changement de phase dans un matériau inerte (plus ou moins plastique) par un procédé breveté Dupont Energain. Avec 5 mm de paraffine encapsulée, on obtient une inertie intéressante.

Le changement de phase s'effectue autour de 22°C et consiste à passer d'un état plus ou moins solide à un état plus ou moins liquide. En effet, le matériau demeure sous forme de gel ou de matière gélatineuse grâce à la paraffine. Le changement se fait de manière progressive sous l'effet d'une chaleur latente qui s'échelonne de 10 à 30°C. Le changement opère entre 18 et 26°C.

En comparant la quantité d'énergie emmagasinée par un mur en béton et un mur à changement de phase, à épaisseur égale (5 mm), pour un passage de 18°C à 26°C, le premier peut stocker 24w/m² alors que le second en stocke 6 fois plus, soit 144w/m².

A masse volumique équivalente, il y a plus d'énergie échangée avec le MCP.

De plus, le MCP présente un avantage pratique. Il a en effet été conçu sous forme de panneaux faciles à mettre en œuvre. Le matériau est agrafé, vissé sous une plaque de plâtre qui sert de revêtement. Cela autorise une structure légère : 1 cm de MCP équivaut à 10 cm de béton. L'épaisseur optimale se situe en effet autour de 10 mm, au-delà, ses qualités s'en trouvent perturbées.

Le confort pour l'utilisateur

L'équipe du CETHIL a effectué différents essais en isolant certains caissons avec le MCP et d'autres non. Les caissons ont subi une température estivale, les flux solaires étaient constants et positionnés toujours en face de la vitre. Dans cet essai, on constate un différentiel de 9% entre les différents caissons. Au moment le plus chaud, il fait 30°C dans les caissons isolés avec le MCP et 40°C dans les autres.

D'autres travaux relatifs au MCP sont en cours dans le cadre du projet Prebat³ : en grandeur nature sur deux sites du grand Lyon ainsi que des essais en laboratoire qui consistent à vieillir le matériau afin de connaître son comportement dans le temps.

Les gains de ce produit sont avérés mais il reste encore des problèmes à solutionner tels que la détermination de la surface de matériau à déployer et celle de l'emplacement du MCP: sur le sol ou au plafond.

³ Programme de recherche sur l'énergie dans le bâtiment.

Intervention de Monsieur Bernard SESOLIS

Bernard Sesolis met tout d'abord l'accent sur l'évolution climatique et l'impératif de diviser par 4 les émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050. Pour les acteurs de la construction, il va donc falloir faire évoluer rapidement les techniques. Il va notamment falloir utiliser, comme l'a montré précédemment Monsieur Virgone, de nouvelles techniques d'isolation des bâtiments.

Pour atteindre « le facteur 4 » au niveau global, il faudra en fait diviser par 7 ou 8 la consommation énergétique dans les nouvelles constructions. Cependant, la question de la rentabilité est particulièrement aiguë, notamment sur le plan des énergies dites renouvelables.

Les exigences minimales et la recherche de performances en France : RT 2005 et Labels

En France, l'objectif des réglementations thermiques consiste à fixer un seuil minimal d'efficacité. Les labels préconisent des règles plus strictes tel le label haute performance énergétique, dit HPE (-10% par rapport aux réglementations en vigueur) et THPE, très haute performance énergétique (-20%) qui deviendra la norme d'ici 3 à 4 ans. Le label « très basse consommation » vise de son côté à réaliser des maisons individuelles consommant de 25 à 60 kWh/m²/an.

Si l'on compare la situation française avec celle de l'Allemagne et la Suisse, on constate des évolutions différentes. Il existe en effet 5 000 bâtiments labellisés « PassivHaus » en Allemagne et également 5 000 bâtiments labellisés « Minergie » ou « Minergie Plus » pour la Suisse. C'est donc un réel succès établi sur le caractère incitatif des mesures publiques et une économie du bâtiment rentable avec un niveau de prix élevé.

Les caractéristiques des labels Minergie standard, Minergie plus

Au niveau de l'isolation thermique, l'exigence minimale se situe entre 15 et 20 cm d'isolant en façade pour Minergie standard, et entre 20 et 35 cm pour Minergie P, alors qu'en France l'isolation thermique avoisine les 10 cm.

Le Label Minergie utilise par ailleurs du double vitrage et Minergie P du triple vitrage. Mais notons que l'installation d'un vitrage double vertical au sud permet d'obtenir une situation d'énergie positive car d'une part, on bénéficie d'un apport pendant l'hiver et d'autre part, la récupération d'énergie est supérieure à sa déperdition.

En revanche, s'il y a un triple vitrage vertical situé au sud, la solution n'est pas forcément idéale. En effet, le bilan énergétique est moins performant car il y a réduction des déperditions mais aussi réduction des apports solaires. Cependant, situé au nord, le triple vitrage est plus performant que le double.

Le Label Minergie prescrit enfin une ventilation à double flux avec échangeur, système rarement préconisé en France, pour les maisons individuelles, en raison de sa difficulté de mise en œuvre notamment.

Les caractéristiques des Passiv Haus en Allemagne

La prestation est différente car elle part du coefficient U des parois⁴. Plus le coefficient U est faible, plus la qualité d'isolation thermique de la paroi est bonne. Le U imposé par ce label est de 0.15, alors qu'il s'élève à 0.36 en France.

Dans la Passiv Haus, on pose du triple vitrage même au sud mais le U est inférieur à 0.8. Le facteur solaire des parois vitrées est donc aussi un paramètre très important car le bilan énergétique d'un vitrage dépend autant de sa capacité à limiter les déperditions qu'à capter l'énergie solaire. Le facteur solaire est de 0.5, ce qui signifie que le vitrage est de très bonne qualité optique.

Concernant la perméabilité à l'air de l'enveloppe du bâtiment, les Allemands sont particulièrement exigeants. Ils visent en effet un débit traversant inférieur à 0.6 volume/heure sur 50 pascals de dépression. Ce débit favorise l'étanchéité des bâtiments dont la mise en œuvre est particulièrement soignée.

Enfin, ce label préconise l'utilisation d'une VMC double flux⁵ car plus elle est performante, plus elle exige une enveloppe performante de la perméabilité à l'air.

Quelles sont les performances visées ?

Dans le modèle PassivHaus :

Consommation de chauffage : 15 kWh/m²/an EF (énergie finale : kWh facturés : m³ de gaz, litre de fioul au compteur...)

Tous usages : 120 kWh/m²/an EP (énergie primaire : énergie telle quelle sans transformation)

Dans le modèle Minergie :

Chauffage et eau chaude sanitaire : 42 kWh/m²/an EP en neuf

Chauffage et eau chaude sanitaire : 80 kWh/m²/an EP en réhabilitation

Dans le modèle RT 2005 :

Maison individuelle : chauffage + eau chaude sanitaire + refroidissement

Chauffage + ECS électrique = 130 à 250 kWh/m²/an

Chauffage + ECS à gaz = 80 à 130 kWh/m²/an EP

Il existe une convention en France qui consiste à dire que 1 kWh électrique = 2.58 kWh EP et 1 kWh de gaz, de fioul, de bois = 1 kWh EP

Mais il est très difficile de comparer ce qu'un pays affiche en termes d'exigence par rapport à un autre. De plus, rappelons qu'il s'agit d'un niveau réglementaire en France et de labels en Suisse et en Allemagne.

⁴ Le coefficient U étant le flux énergétique traversant un 1 m² de paroi pour 1°C d'écart entre les 2 faces.

⁵ Système qui influe autant d'air qu'il en insuffle.

Bâtiments autonomes / Bâtiments à énergie positive / Bâtiments à émissions de gaz à effet serre nulles

L'objectif de 2050 est de parvenir à construire des bâtiments autonomes (énergie auto consommée) et des bâtiments à énergie positive, c'est à dire des bâtiments qui consomment moins d'énergie qu'il n'en produisent, ainsi que des bâtiments à émissions de gaz à effet de serre nulles en équilibrant les ratios (bois brûlé/bois planté).

Il est important que l'augmentation des performances des systèmes s'accompagne d'une réduction des besoins. Pour que ces systèmes fonctionnent, la demande en énergie dans les bâtiments doit en effet être la plus faible possible. Or, chacun observe bien aujourd'hui que la tendance est au contraire à une augmentation de notre confort et donc des besoins.

Le Bâtiment autonome produit l'énergie consommée sans être raccordé ni à un réseau de gaz ni au réseau électrique. La consommation égale la production. Pour ce type d'habitat, la question du stockage est essentielle. On utilise donc une conception climatique solaire actif/passif, éolienne et capteurs photovoltaïques pour l'électricité. Mais ce bâtiment reste difficilement standardisable ou généralisable.

Différents exemples de maisons économes :

Aux USA, on trouve des bâtiments à énergie positive ou nulle appelés « Zero Net Energy Houses » avec les caractéristiques suivantes : consommation nette annuelle nulle, présence de capteurs photovoltaïques pour usage propre et connexion au réseau, source géothermale pour le conditionnement de l'air. Le surcoût de ces maisons en termes de fabrication est d'environ 10% en tenant compte d'un financement à long terme. Il faut le mettre en balance avec un coût énergétique annuel fortement réduit : 300\$ (coût moyen annuel d'une maison standard) contre 1570\$.

En Allemagne, on trouve le bâtiment à zéro émission de CO₂ dit « Braunschweig ». 100% des besoins en chaleur et en électricité sont couverts par les énergies renouvelables. La cogénération fonctionnant à l'huile de colza produit de la chaleur et de l'électricité, complétée d'installations photovoltaïques de 60 kWh, de capteurs solaires thermiques (pour eau chaude sanitaire), de chauffage solaire du hall grâce à l'installation de sprinklers et enfin de la récupération de l'énergie de l'air extrait par ventilation double flux et pompes à chaleur.

Un des premiers exemples en France de bâtiment à énergie positive est en cours de réalisation. Il s'agit d'un immeuble de bureaux situé à Toulouse sur une surface de 5000 m² avec les caractéristiques suivantes : 5400 m², 80 mètres développés en 11 facettes, 17 mètres de large et 22 mètres de hauteur.

Un tel projet vise à réduire la consommation et donc les besoins. On hiérarchise les efforts selon l'importance des postes de consommation énergétique : choix de matériels de bureautique performants, réduction des apports solaires externes et internes (bureautique, éclairage) pour minimiser l'utilisation de la climatisation (architecture, occultations, isolation thermique), accès optimal à la lumière du jour, réduction des déperditions de chauffage, et enfin utilisation du solaire pour l'eau chaude sanitaire.

Mais en réduisant de façon drastique les besoins, il est nécessaire de maîtriser les effets «collatéraux». Il faut réduire les déperditions (isolation, compacité) mais faire attention au confort mi-saison et été, exploiter le soleil d'hiver mais faire attention aux apports en mi-saison, réduire les débits d'air mais faire attention à la qualité d'air intérieur et mettre l'accent sur l'importance du facteur de lumière du jour tout en prenant garde aux éblouissements.

Il faut aussi réduire la consommation des équipements performants :

- climatisation : génération EER = 5 (sonde géothermale) + émetteurs efficaces à faibles consommations d'auxiliaires : plafonds
- éclairage : tubes 16mm + ballasts A1 + luminaires hautes performances + gestion centralisée + dérogations locales (détecteurs + capteurs photosensibles pour E.N.)
- chauffage : générateur COP = 5 (PAC réversible) + VMC double-flux échangeur 90%
- eau chaude sanitaire : capteurs solaires

Après analyse, il apparaît que la plus grosse part des consommations selon les postes n'est pas liée au bâtiment mais au matériel de production, c'est-à-dire, l'informatique et la bureautique. Viennent ensuite la climatisation, l'éclairage et les auxiliaires de ventilation. La compacité du bâtiment permet de consommer très peu de chauffage, soit 2% de la consommation totale.

Reste la question de la production énergétique. Il existe deux systèmes principaux de production d'énergie : les énergies renouvelables (photovoltaïque, éolienne, petite hydraulique, géothermie) et la cogénération (utilisation de biocombustibles ou de pile à combustible). Le choix se fait selon le site et l'image du bâtiment. Pour ce bâtiment, les cellules photovoltaïques, sur 900 à 1000 m², ainsi qu'éventuellement une éolienne à axe horizontal en toiture seront retenues.

Les limites de l'expérience résident notamment dans une reproductibilité économique limitée, une approche «comptable» de l'énergie sur un seul bâtiment (pas d'approche urbaine) et un projet fondé sur le marché actuel sans prise en compte de l'évolution des besoins.

Les intérêts de l'expérience rentrent dans un cadre démonstratif. En effet, il est techniquement possible de réaliser un bâtiment à énergie positive dès maintenant avec des moyens «catalogue» : le «facteur 2» est reproductible rapidement. Cette expérience permet aussi de réaliser un suivi sur un bâtiment important, ainsi qu'un suivi du point de vue de l'usage. Enfin, ce projet met en évidence un nouveau mécanisme de décision : dépenser ce qu'il faut pour la réduction des besoins afin d'économiser des m² de capteurs.