

Jean-Marc Zraggen et Bernard Lachal\*

# Performance énergétique d'un immeuble Minergie sous la loupe : entre objectifs et réalités<sup>1</sup>

46

**Comprendre avec précision le comportement des bâtiments à haute performance énergétique. C'est le but d'une étude approfondie menée pendant quatre ans sur un bâtiment Minergie situé dans le quartier du Pommier, à Genève. Il en ressort plusieurs enseignements très utiles pour améliorer la performance thermique et énergétique des bâtiments.**

*1) Ce texte présente un extrait de la thèse de doctorat que Jean-Marc Zraggen termine en ce moment sous la direction de Bernard Lachal, au sein du Groupe énergie de l'Institut des sciences de l'environnement (ISE), à l'Université de Genève, en Suisse.*

Sur le papier, les trois bâtiments du Pommier, qui abritent 117 logements d'une surface chauffée totale de 21 000 m<sup>2</sup>, sont Minergie : ils ont été conçus pour que la demande de

\* Jean-Marc Zraggen est responsable de l'unité Maîtrise de l'énergie aux Services industriels de Genève (SIG). Bernard Lachal dirige le Groupe énergie de l'Institut des sciences de l'environnement (ISE), à l'Université de Genève.

chauffage ne dépasse pas 53 mégajoules/m<sup>2</sup>/an en conditions normalisées.

Or, durant la troisième saison de chauffage, l'hiver 2006-2007, la consommation a atteint 130 MJ/m<sup>2</sup>/an. Cet hiver ayant été particulièrement clément, cela signifie que cette consommation aurait atteint 186 MJ/m<sup>2</sup>/an lors d'un hiver « standard » à Genève, c'est-à-dire plus rigoureux.

Le suivi énergétique approfondi réalisé sur l'un de ces trois bâtiments permet d'identifier l'origine de cet écart observé entre l'objectif visé et la réalité. Le Service cantonal de l'énergie (ScanE), le Groupe énergie de l'Université de Genève et le maître d'ouvrage, la Caisse de prévoyance du personnel enseignant de l'instruction publique et des fonctionnaires de l'administration du canton de Genève (CIA), ont financé cette étude.

La campagne de mesures approfondie s'est déroulée entre 2004 et 2008. Une station météorologique installée sur l'un des toits a permis de quantifier avec précision le climat in situ. La période de référence utilisée pour les analyses s'étend, sur une année, du 1<sup>er</sup> juin 2006 au 31 mai 2007. Les renseignements collectés pendant cette campagne de mesure permettent de comprendre pourquoi les besoins en chauffage sont 3,5 fois plus élevés que prévu dans ces immeubles.

## Caractéristiques essentielles

Le concept énergétique des bâtiments du Pommier s'appuie en premier lieu sur une enveloppe thermique de qualité. Un soin particulier a été apporté à la réduction des ponts thermiques, ces ruptures totales ou partielles d'isolation qui augmentent les déperditions de chaleur.

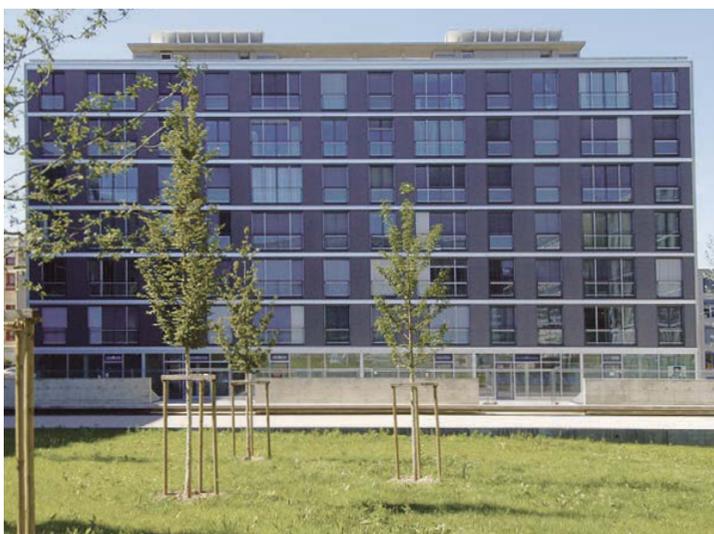
Deux chaudières à gaz très performantes – modulantes et à condensation – assurent la production de chaleur. Sur les toits, 0,5 m<sup>2</sup> de capteurs solaires thermiques par habitant fournissent une partie des besoins en eau chaude sanitaire.

Un système de ventilation à double flux garantit le renouvellement de l'air sans qu'il soit nécessaire d'ouvrir les fenêtres. L'air expulsé chauffe l'air frais qui entre à travers un échangeur de chaleur. Une pompe à chaleur fournit le complément qui permet au système de pulser dans les logements de l'air à 21°C. Cet appareil fournit également l'appoint à l'eau chaude sanitaire en été, lorsque le chauffage principal est à l'arrêt.

## Performance énergétique : objectif versus réalité

Le tableau présente une estimation des facteurs à l'origine des différences observées

*Façade nord-est (gauche) et sud-ouest (droite) du bâtiment central du Pommier*



entre la consommation de chauffage prévue (53 MJ/m<sup>2</sup>/an) et mesurée (130 MJ/m<sup>2</sup>/an). Deux catégories d'effets sont à l'origine des écarts observés : les uns concernent la performance intrinsèque des bâtiments, les autres sont liés à leurs conditions d'utilisation, c'est-à-dire au comportement des habitants.

#### Performance du bâtiment

Dans la première catégorie d'effets, les ponts thermiques dus aux raccords des fenêtres, nombreux dans ces bâtiments très vitrés, jouent un rôle prépondérant. Or, le premier calcul de performance énergétique a sous-estimé une bonne partie d'entre eux.

Vient ensuite le récupérateur de chaleur intégré à la ventilation double flux : alors que son efficacité annoncée dans le justificatif Minergie est de 80 % – soit autant de chaleur récupérée –, les mesures montrent une efficacité de 65 %.

Les gains internes électriques se réfèrent à la chaleur que les appareils électriques dégagent dans un ménage : ampoules, four, électroménager, etc. Au Pommier, en cohérence avec la qualité énergétique des immeubles, le maître d'ouvrage a équipé tous les logements d'appareils électroménagers de classe A. En réduisant les déperditions thermiques de ces appareils, ce choix contribue indirectement à augmenter la demande en chauffage.

Autre facteur : la taille plus grande des logements par rapport à la moyenne. Les déperditions thermiques de ces appareils sont donc diluées dans une plus grande surface chauffée, ce qui engendre une baisse proportionnelle des gains thermiques associés.

La consommation d'énergie de chauffage est fortement associée au taux de renouvellement de l'air intérieur. Or, suite à un dysfonctionnement du système de ventilation, les bâtiments ont été surveillés pendant une très longue période. Le circuit de chauffage a dû compenser ces pertes supplémentaires.

À l'origine du projet, des vitrages de coefficient U = 0,8 W/m<sup>2</sup>K, mesure de leur performance d'isolation, devaient être installés sur la façade nord-est du bâtiment central. Mais entre la conception du projet et la réa-

	Calcul initial	Nouveau calcul	Différence en MJ/m <sup>2</sup> /an
Ponts thermiques	Partiel	Complet	+ 20
Efficacité du récupérateur de chaleur (%)	80	65	+ 12
Gains internes électriques (MJ/m <sup>2</sup> /an)	100	76	+ 8
Taux de renouvellement de l'air (m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> )	0,7	1,12	+ 6
Coefficient U des vitrages nord (W/m <sup>2</sup> K)	0,8	1,0	+ 5
Conditions de calcul	MO 1993	SIA 2001	+ 4
<b>Total fonctionnement du bâtiment</b>			<b>+ 55</b>
Température des logements (°C)	20	22,5	+ 33
Fenêtres ouvertes (estimation)	0,1	0,1	+ 19
Stores baissés (estimation)	0	0,3	+ 10
<b>Total comportement des habitants</b>			<b>+ 62</b>
Climat	Standard GE	Mesuré 06/07	- 45
<b>Différence totale considérée</b>			<b>+ 72</b>



Instruments de mesures météorologiques

lisation de l'ouvrage, les méthodes de certification des vitrages ont été modifiées et les vitrages posés ont un moins bon coefficient que prévu : U = 1 W/m<sup>2</sup>K.

En outre, entre le moment de la planification des bâtiments et l'analyse des résultats, les conditions de calcul du logiciel ont été légèrement modifiées, ce qui engendre d'autres petites différences aux résultats.

#### Utilisation du bâtiment

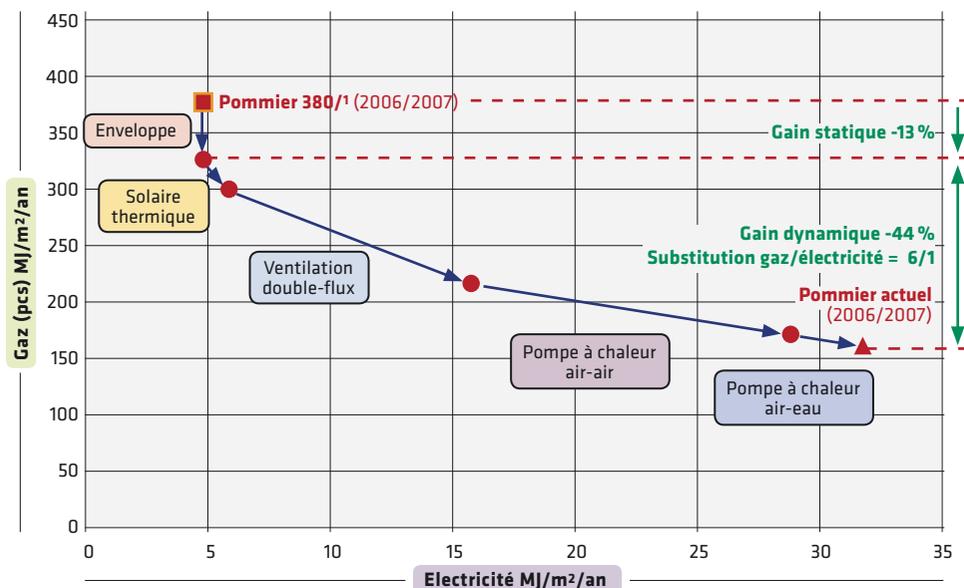
Dans la seconde catégorie d'effets, la température moyenne des logements mesurée pendant la période de chauffage est plus élevée de 2,5°C que la température de référence utilisée pour les calculs (20°C). Or, chaque degré supplémentaire représente une augmentation de 16 % de la consommation de gaz prévue initialement.

Des visites in situ ont confirmé ce fait bien connu : tous les habitants d'un immeuble locatif ne gardent pas leurs fenêtres fermées durant toute la saison de chauffage. Le taux de ventilation naturel qu'induisent ces fenêtres ouvertes n'a cependant pas été mesuré au Pommier. Le chiffre utilisé dans ce calcul provient d'une étude préalable menée par le Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie (Cuepe) sur un autre immeuble d'habitation (Lachal et coll., 1992).

Les visites régulières de l'immeuble ont également révélé qu'une fraction non négligeable des occupants maintient ses stores constamment baissés. Ces gains solaires manquants représentent une augmentation de la demande en chauffage. Là encore, le chiffre utilisé dans le calcul provient d'observations préalables effectuées sur un autre bâtiment (Lachal et coll., 1992).

#### Premier bilan

Ces données permettent de recalculer la demande de chauffage avec un climat, une température intérieure et un taux de ventilation « normalisés ». Il en ressort que, par rapport à la demande de chauffage prévue de 53 MJ/m<sup>2</sup>/an, la performance réelle du bâtiment nécessite un surcroît de 54 MJ/m<sup>2</sup>/an de chaleur



Substitution gaz-électricité des différents sous-systèmes

et le comportement des habitants entraîne une consommation supplémentaire de 82 MJ/m<sup>2</sup>/an. Le comportement des habitants a donc plus d'impact sur la consommation du bâtiment que sa sous-performance intrinsèque.

Tous ces constats n'empêchent pas le complexe du Pommier de garantir de véritables économies d'énergie. Le carré rouge (en haut à gauche du schéma) représente le point de fonctionnement virtuel qu'auraient eu les bâtiments s'ils avaient été construits selon les normes en vigueur et chauffés au gaz (scénario standard).

L'amélioration de l'enveloppe thermique baisse uniquement la demande de gaz. Puis, l'intégration progressive des sous-systèmes entraîne une substitution croissante du gaz par l'électricité. La consommation électrique sert au fonctionnement de l'installation solaire, du ventilateur de pulsion et de la pompe à chaleur. Le triangle rouge (en bas à droite) représente le point de fonctionnement réel mesuré en 2006/07.

Nous avons comparé la performance du Pommier avec une dizaine d'autres bâtiments similaires conformes aux normes en vigueur (SIA 380/1). Le Pommier consomme environ 60 % de gaz en moins, mais 4,4 fois plus d'électricité. Il présente un coefficient de performance apparent de 11 : chaque unité d'électricité supplémentaire que le Pommier consomme permet d'économiser 11 unités de gaz.

Cette performance est cependant quatre fois moins bonne que celle d'un autre bâtiment de logements Minergie que nous avons étudié (Putallaz, 2009). D'une conception

technique plus simple, ce dernier consomme plus de gaz que le Pommier, mais moins d'électricité, ce qui lui confère un coefficient de performance apparent de 48.

### Des leçons à tirer

Sans conteste, la construction du Pommier selon le standard Minergie entraîne une substantielle économie d'énergie. Une forte réduction de la consommation de gaz jointe à une augmentation de la demande électrique se solde par un bilan d'environ 43 % d'énergie primaire<sup>1</sup> économisée par rapport à un bâtiment standard comparable.

La divergence entre l'objectif normé et la réalité n'est pas un phénomène réservé aux constructions Minergie : nous l'avons constatée sur une dizaine de bâtiments standards. Mais plus important que ces dépassements est le constat que des objectifs plus stricts (normes de construction) permettent de diminuer globalement la consommation d'énergie.

La qualité de l'enveloppe thermique est la clef de voûte d'un bâtiment énergétiquement performant. Elle nécessite une excellente maîtrise des ponts thermiques et du taux de renouvellement de l'air. Cependant, l'étude du Pommier atteste que la performance de l'enveloppe et des systèmes intégrés est nécessaire, mais ne suffit pas pour atteindre les objectifs de consommation prévus. Un potentiel d'économie important réside dans la sobriété énergétique des habitants, domaine pour lequel les sciences de l'ingénieur ne sont pas qualifiées pour apporter des réponses.

Ces résultats montrent que le déploiement de certaines solutions dites à « haute performance énergétique » peut avoir un impact non négligeable sur la consommation électrique globale. Et l'assainissement énergétique du parc immobilier devrait faire l'objet d'une stratégie globale et cohérente qui inclut également la problématique électrique.

Une solution consisterait à changer les règles du jeu pour réorienter la tendance actuelle en privilégiant les systèmes passifs au détriment des systèmes actifs : plus d'enveloppe, une meilleure conception avec moins de technologie ; une approche qui confère évidemment un rôle majeur aux architectes. Il faudrait aussi repenser le système de rémunération des ingénieurs et les récompenser pour la simplicité de leur concept énergétique, et non pas au prorata du matériel installé (Lachal, 2006).

Finalement, le succès de l'expérience du Pommier ne doit pas faire oublier que le véritable enjeu climatique des bâtiments se trouve dans l'assainissement énergétique du patrimoine bâti.

Aujourd'hui, la Confédération s'apprête à mettre en œuvre un véritable « Plan Marshall » de la rénovation du parc immobilier pour diminuer les émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) qui lui sont associées.

Dans cette perspective de développement à long terme, la meilleure stratégie consiste à investir massivement dans la matière grise pour favoriser la simplicité des concepts et récompenser la passivité des systèmes. Il est temps de renouer avec le rythme des saisons au lieu de s'y opposer par la complication technologique. ■

*Il faut privilégier les systèmes passifs*

<sup>1</sup> En utilisant les facteurs de conversion définis dans le cahier technique SIA 2031 : gaz = 1,15 MJ/MJ et électricité = 2,97 MJ/MJ.

### BIBLIOGRAPHIE

LACHAL B. *Il est possible d'économiser des quantités colossales d'énergie*, LaRevueDurable n° 21, juillet-août-septembre 2006, pp. 8-12.

LACHAL B, WEBER W ET GUIGAN O. *Simplified Methods for the Thermal Analysis of Multifamily and Administrative Buildings*, Ashrae Transactions : Symposia, pp. 1151-1159, 1992.

PUTALLAZ J. *Suivi énergétique 2005-07 des Zabouches, immeuble Minergie de la Coopérative de l'habitat associatif (Codha)*, Mandat du Service cantonal de l'énergie du canton de Genève (ScanE), 2009.