

Pollution atmosphérique

ISSN : 2268-3798

Éditeur : Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique

218 | 2013

Varia

site de la maison positive en énergie de Bruno Comby à Houilles

Lionel Charles et Isabelle Roussel

 <https://www.peren-revues.fr/pollutionatmospherique/2143>

DOI : 10.4267/pollution-atmospherique.2143

Référence électronique

Lionel Charles et Isabelle Roussel, « site de la maison positive en énergie de Bruno Comby à Houilles », *Pollution atmosphérique* [En ligne], 218 | 2013, mis en ligne le 31 juillet 2013, consulté le 24 février 2026. URL : <https://www.peren-revues.fr/pollutionatmospherique/2143>

Droits d'auteur

CC-BY

site de la maison positive en énergie de Bruno Comby à Houilles

Lionel Charles et Isabelle Roussel

TEXTE

"Nous sommes persuadés que c'est en aidant chacun à mieux vivre, en adoptant une attitude exemplaire, en développant une meilleure hygiène de vie et une véritable éthique de vie que la société pourra évoluer favorablement". Telle est la devise mise en œuvre par l'Institut Bruno Comby, association à but non lucratif dont l'objectif est de "favoriser la recherche scientifique et la promotion de la santé publique, la prévention médicale et un meilleur mode de vie, pour améliorer la santé des individus et des entreprises, pour la préservation de l'environnement et l'amélioration des conditions de vie" (extrait des statuts de l'IBC).

- 1 Bruno Comby s'est passionné pour les questions énergétiques dans la perspective de mettre à profit ses connaissances techniques et en faire bénéficier les autres pour répondre aux défis des temps modernes, à savoir la crise de l'énergie, et pour conjuguer confort et qualité de vie avec la maîtrise des émissions de gaz carbonique. Sa démarche est globale, car il est particulièrement sensible à la qualité de l'air et ne voudrait pas que l'on sacrifie la santé publique et le confort aux économies d'énergie. En outre, cette démarche s'inscrit dans une réflexion écologique globale dans un esprit de respect de la nature qu'il prend pour modèle : ses recherches sur l'alimentation saine et naturelle dans les pays développés ou sur l'utilisation des protéines d'insectes pour mieux nourrir les populations du tiers-monde sont bien connues et ont fait le tour du monde. La gestion de son jardin et de son poulailler tient une grande place dans ses choix alimentaires. Outre ses options philosophiques (l'optimisme pour faire « toujours mieux »), il a le souci de minimiser les coûts pour que les options qu'il a choisies puissent être reproductibles et généralisables. Même s'il n'a pas encore breveté ou commercialisé ses « astuces », il a tiré les leçons des expériences entreprises, et son expertise pourrait être utilisée par bien des bureaux d'études. Il a eu

la gentillesse de nous ouvrir les portes de sa maison pour une visite détaillée et commentée.

Bruno Comby a publié de nombreux ouvrages aux titres évocateurs : "Mangez mieux, vivez mieux", "Le nucléaire, avenir de l'écologie ?", "Délicieux insectes", "Comment vous libérer du tabac ?" (éditions TNR, ouvrages disponibles sur le site internet de l'institut Bruno Comby : www.comby.org)

Très investi dans l'art de bien vivre, comment vous êtes-vous investi dans cette « chasse au gaspi » ?

Dès le début des années 2000, avant que tout le monde se mette à en parler, j'ai développé un outil de bilan carbone, un logiciel (tableur XLS) permettant de faire son propre bilan de CO₂ ou celui de sa famille, de son entreprise, de son pays, etc. pour permettre à chacun de réduire ses émissions de CO₂. Le secteur du bâtiment est celui qui offre en France le maximum de gains potentiels puisqu'il représente plus de 40 % des émissions de CO₂ du pays. Mon premier objectif, en construisant ma maison, était d'en limiter autant que possible les émissions de CO₂ et les besoins thermiques (économies d'énergie).

Mon second objectif était celui de l'accessibilité économique, n'étant pas millionnaire en ce qui me concerne (budget de construction limité), et surtout pour que cette potentielle maîtrise du CO₂ soit offerte à tous.

J'ai donc décidé de mettre mon savoir-faire d'ingénieur et mes compétences techniques au service de la recherche de systèmes d'économie d'énergie présentant le meilleur rapport qualité-prix.

Parlez-nous d'abord de votre ancienne maison.

En 1998, je me suis installé à Houilles en y achetant un pavillon de banlieue typique de 70 m² en brique, sans isolation, chauffé au gaz avec une chaudière qui consommait 40 kWh, et cela ne suffisait pas en période de grand froid, le recours à un chauffage électrique d'appoint étant alors nécessaire.

Avez-vous essayé de profiter des mesures incitatives mises en place au début du siècle pour améliorer les performances thermiques de cette maison très représentative de nombreux autres pavillons de banlieue ?

Oui, il y a 15 ans j'ai d'abord isolé le grenier (gros bénéfice thermique pour pas cher et sans aide fiscale). J'ai fait changer les fenêtres car c'était la maison des courants d'air : j'ai moi-même commandé et posé les nouvelles fenêtres après avoir fait remplacer la première (avec avantage fiscal), en regardant comment faisait l'artisan pour acquérir le savoir-faire et ensuite faire moi-même toutes les autres (sans avantage fiscal). Après isolation des courants d'air, des fenêtres et du plafond, j'ai aussi remplacé la chaudière à

gaz par une chaudière à condensation 24 kW (avec un petit coup de pouce fiscal).

Quelles leçons avez-vous tirées de ces travaux ?

J'ai gagné sur le plan thermique, mais la maison étant moins bien ventilée (plus étanche), le taux de CO₂ dans la maison montait beaucoup la nuit, jusqu'à des valeurs déraisonnables. Le taux de CO₂ montait à 3 000 ou 4 000 ppm dans ma chambre en milieu et fin de nuit. C'est 4 fois trop ! La solution est alors simple : ouvrir la porte de la chambre pour disposer d'un plus grand volume d'air (ou encore mieux ouvrir la fenêtre l'été, mais ce n'est pas idéal pour les économies d'énergie en hiver, on préférera alors garder la fenêtre fermée et ouvrir plutôt la porte de la chambre !). Il est possible ensuite dans ce type de rénovation d'installer une ventilation double flux, qui réunit tous les avantages (économies d'énergie et qualité de l'air). Les économies d'énergie ne doivent pas se faire au détriment de la santé, de l'environnement et de la qualité de vie. Lorsqu'on choisit les bonnes solutions techniques, il n'y a que des avantages à tous les niveaux.

J'ai pu constater que le système des crédits d'impôts a des limites et pousse parfois à l'augmentation des prix. Acheter et poser moi-même mes fenêtres m'a coûté environ 300 euros par fenêtre. Avec le crédit d'impôt, en faisant intervenir un artisan agréé, c'est environ 1 000 ou 1 200 euros la fenêtre, dont une petite moitié est remboursée (aux frais du contribuable) sous forme de crédit d'impôt. C'est aussi rapide, pas bien difficile et beaucoup moins cher de faire le travail de pose soi-même, plutôt que de bénéficier du crédit d'impôt, mais dans ce cas on ne bénéficie d'aucun avantage !

Même sans le moindre crédit d'impôts, le montant des travaux reste significativement moins cher quand on fait soi-même la pose, donc les avantages fiscaux n'encouragent pas les systèmes économes ; au contraire, ils incitent les installateurs à exagérer leurs devis. C'est un gaspillage d'argent public.

Cela n'explique pas pourquoi vous avez interrompu cette voie-là pour construire une nouvelle maison à côté de l'ancienne.

J'avais besoin d'une maison plus grande pour ma famille, car je me suis marié en 2003 et mon fils est né en 2005.

La grande leçon que j'ai tirée de ces premières expériences, c'est la nécessité de penser les économies d'énergie au moment de la construction de la maison.

J'ai donc décidé de construire un nouveau pavillon de banlieue, plus grand et surtout beaucoup plus performant sur le plan énergétique pour un prix abordable, de manière à ce que cette expérience soit reproductible.

Par ailleurs, je travaille chez moi, ce qui me permet de faire des économies sur le transport en travaillant en réseau depuis chez moi et, depuis, peu, je roule en voiture électrique (Renault Zoé), ce qui, en plus de ma nouvelle maison, réduit à presque rien mes émissions de CO₂.



Photo 1. Bruno Comby devant sa Renault Zoé

Votre nouvelle maison est-elle un prototype ?

Ma nouvelle maison que j'ai donc construite juste à côté de l'ancienne, sur le même terrain, est environ trois fois plus vaste (surface habitable) mais nécessite de l'ordre de 100 fois moins d'énergie pour son chauffage en période de grand froid en hiver, et surtout elle émet 500 fois moins de CO₂ dans l'atmosphère sur l'année.

C'est un prototype unique rassemblant dans une même maison tout ce qui permet d'optimiser sa consommation d'énergie à un prix raisonnable : puits

canadien, ventilation double-flux, conception bioclimatique, isolation renforcée, pompe à chaleur à haut rendement, récupération de la chaleur de l'eau des douches...

C'est pourquoi le Grenelle de l'Environnement a utilisé cette maison comme exemple et comme maison témoin de ce vers quoi devrait tendre la maison du futur, et s'en est inspiré pour la définition de la nouvelle réglementation thermique (RT 2012).

Pouvez-vous en tirer des conclusions sur la politique mise en œuvre ?

Avec des moyens nationaux limités, il vaut mieux encourager le neuf et le faire bien quitte à laisser le parc existant. L'optimum économique consiste à mettre le paquet sur le neuf pour renouveler correctement 2 % du parc chaque année. Si cette proportion est construite comme il faut, alors en 20 ans on aura 40 % du parc du logement qui sera adapté aux défis énergétiques. En refusant de miser sur le neuf, en encourageant le gaz, fortement émetteur de CO₂ avec une réglementation thermique absurde, on a perdu 30 ans en France. Ensuite (mais c'est plus coûteux) il faut aussi rénover les habitations existantes. C'est d'ailleurs ce que préconise la transition énergétique.

Pouvez-vous nous rappeler quels sont les principes de base que vous vous êtes donnés ?

Oui, bien sûr, mes choix ont été guidés par un certain nombre de principes :

- L'objectif est avant tout énergétique de manière à limiter les émissions de CO₂ et la consommation d'énergie.
- Ma maison a aussi pour objectif de servir d'expérimentation pour tester un certain nombre de techniques permettant de diminuer la consommation d'énergie à un coût acceptable dans le contexte de la banlieue parisienne. C'est-à-dire aussi avec la perspective de limiter au maximum les trajets, donc en pensant qu'une maison doit pouvoir offrir la possibilité de travailler à domicile.
- Une maison est faite pour vivre dedans et de préférence pour bien y vivre donc les principes doivent être ajustés en fonction des activités et du nombre d'habitants, sans oublier de prendre en compte l'environnement global.

La durabilité est aussi un objectif car l'investissement effectué pour une maison mobilise les économies de toute une vie. C'est pourquoi je préfère une maison thermiquement performante en briques isolantes (plus durables) qu'une maison écologique en bois (moins durable). En revanche, je

n'ai pas de prévention contre l'électricité, car en France elle est produite quasiment sans CO₂ (nucléaire et hydraulique), ce qui est beaucoup mieux que le chauffage au fuel (encore fréquent dans les anciens pavillons) ou les chaudières à gaz (importé de Russie et d'Iran, pays bien peu stables et démocratiques), qui domine aujourd'hui le marché de la construction neuve.

Contrairement à la norme RT 2012...

En effet, la RT 2012 encourage le gaz, elle est anti-électricité, puisqu'elle raisonne en énergie primaire, ce qui disqualifie l'électricité qui pourtant émet moins de CO₂ et est produite en France. Pourtant, le fait que le but soit de chauffer une maison oblige logiquement à raisonner en énergie finale (c'est l'énergie qui chauffe la maison qui nous intéresse). On sait bien que, pour l'instant, les énergies renouvelables coûtent encore bien cher et sont intermittentes, tandis que le gaz défavorise la balance commerciale.

Le premier choix que j'ai effectué avant de construire la maison est donc celui du chauffage électrique, le plus économe possible (en réduisant les besoins) pour diminuer les émissions de CO₂ et donc de bannir le gaz et le fuel avec pour objectif d'en diminuer au maximum la consommation. Ma nouvelle maison n'est pas raccordée au gaz.

Rétrospectivement, pouvez-vous justifier ce choix ?

Oui, en 2009, la maison était terminée mais la mise en service de la pompe à chaleur a été retardée car l'abonnement triphasé (utile pour améliorer légèrement la performance de la pompe à chaleur) n'était pas encore installé.

En attendant l'installation de la pompe à chaleur à haut rendement en triphasé, pendant deux hivers j'ai dû chauffer la maison avec deux radiateurs électriques classiques (à huile). Deux radiateurs de 1,5 kW chacun suffisaient, c'est-à-dire 3kW pour chauffer la maison. Je suis passé d'une consommation de 40 kW dans l'ancienne maison à 3 kW pour une maison deux fois et demi plus grande. Avec une pompe à chaleur, qui est maintenant installée, on divise à nouveau la consommation par six, ce qui fait qu'on consomme en moyenne seulement 500 W environ, même en période froide. Donc l'isolation, la conception de la maison et la ventilation double flux avec échangeur thermique divisent la consommation par 10 ou 15, et la pompe à chaleur divise encore la consommation résiduelle par 5 ou 6, soit une réduction de l'ordre de 50 à 100 en tout, c'est énorme ! Cela donne une idée du potentiel des économies d'énergie : en fait, on peut s'approcher de la maison à zéro-énergie, néanmoins il faut toujours un peu d'énergie pour la période froide en hiver, pour prendre des douches chaudes en hiver et pour ventiler la maison (confort respiratoire et santé)...

Dans votre système, la pompe à chaleur est donc un élément essentiel.

Tout à fait, c'est l'élément essentiel de la stratégie énergétique d'une maison. Le simple fait de choisir une pompe à chaleur permet de gagner à soi tout seul déjà un facteur 6 dans mon cas (pompe à chaleur eau-eau haute performance), ce qui est beaucoup. Le reste des gains est éclaté entre une multitude de gains plus petits à différents niveaux mais qui, en les ajoutant les uns aux autres, permettent de gagner encore beaucoup. Pour être optimisée, la maison doit être conçue dans cet esprit, avec une réflexion globale dans un système très ajusté.

Ce système intègre la maison dans son ensemble puisque vous plaidez pour une construction neuve.

Le rendement d'une pompe à chaleur est meilleur à basse température, donc avec un plancher chauffant, ce qui est difficile (voire impossible) à rajouter lorsque la maison est déjà construite. C'est d'ailleurs une des limites de la rénovation, l'absence de plancher chauffant induisant le choix d'une chaudière à gaz dont j'ai déjà souligné les limites (dégagement de CO₂ et encouragement aux importations). Sa température ne dépasse pas celle de la zone de confort à savoir 37 °C. Il n'est pas nécessaire de chauffer à une température plus élevée, car la surface déployée est plus grande. Un plancher diffuse une chaleur basse température plus agréable que les radiateurs. Dans le cas de ma maison, toutes les surfaces habitables en sont équipées : il y a un plancher chauffant sur les deux niveaux.

De même, le puits canadien et la ventilation double-flux impliquent des gaines techniques et de nombreux percements de murs qui ne coûtent rien lorsqu'il s'agit d'une nouvelle construction et que c'est prévu au départ, mais qui sont difficiles et coûteux, voire impossibles à rajouter dans le cas d'une rénovation.

Les rupteurs de ponts thermiques ne coûtent rien à ajouter avant de couler une dalle, mais il est tout simplement impossible de les ajouter après si cela n'a pas été fait à la construction.

C'est bien plus facile de faire ce qu'il faut en partant de rien qu'en rectifiant une construction existante qui n'a pas été prévue pour cela.

C'est pourquoi en effet, je plaide pour l'amélioration des performances thermiques d'abord et avant tout dans la construction neuve.

Il est navrant de voir que les maisons neuves construites aujourd'hui sont presque toutes chauffées au gaz, sans plancher chauffant, sans gaines prévues pour la ventilation double-flux ou l'installation d'un puits canadien,

et sans rupteurs de ponts thermiques, alors que c'est facile et peu coûteux de les prévoir au départ.

Qu'est-ce que la conception bioclimatique ?

C'est une réflexion qui s'impose dès la conception, sur la forme et l'agencement de la maison. Il s'agit par exemple d'avoir le plus possible de surface habitable dans la maison avec le moins possible de surface de murs au contact de l'extérieur (pertes thermiques). C'est la sphère qui satisfait le mieux à cette exigence ; mais si l'on veut construire des murs en matériaux lourds et durables, ils doivent être plans et verticaux. Une maison écologique doit alors être cubique puisque le cube est la forme qui se rapproche le plus de la sphère, en utilisant des angles droits et des techniques de construction – pouvant être mises en œuvre facilement et à moindre coût par des maçons.



Photo 2. Bruno Comby devant sa nouvelle maison

Une maison écologique doit alors être cubique puisque le cube est la forme qui se rapproche le plus de la sphère, en utilisant des angles droits et des

techniques de construction pouvant être mises en œuvre facilement et à moindre coût par des maçons.

Ma maison a donc l'aspect d'un gros cube de 10 mètres de côté. Ce n'est pas le fruit du hasard. Elle est entourée par des volumes tampons : cave, grenier, garages de chaque côté de la maison ; ce sont des sas thermiques qui ne sont pas chauffés mais dont la température se stabilise à environ la moitié de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur. Bien entendu, les pièces à vivre sont au sud, et la cuisine et les salles de bains au nord. Quand il y a du soleil, on économise des heures de fonctionnement de pompe à chaleur.

Une maison écologique est d'apparence normale mais sa forme, la distribution des pièces, l'équipement technique et le choix des matériaux sont importants et doivent être prévus dès la conception de la maison.

Quels ont été vos choix en la matière ?

La première réflexion porte sur l'énergie grise, qui est marginale par rapport à ce que la maison consomme pendant toute sa vie. Donc le raisonnement qui consiste à abandonner une technologie ou un matériau en raison de son énergie de fabrication ne tient pas quand on raisonne globalement sur la durée de vie de la maison. Une maison ayant une longue durée de vie, tout matériau qui renforce soit la durée de vie de la maison, soit son efficacité thermique apporte un gain dans la durée. C'est ce qui m'a conduit à accepter les fenêtres en PVC et le béton. J'ai donc réalisé une chape en béton qui permet un plancher chauffant d'où un gain d'un facteur 6 (COP de la pompe à chaleur) par rapport à un plancher en bois et un chauffage direct.

Le premier choix porte sur le matériau utilisé : brique ou bois ?

Comme la durabilité est un objectif retenu, le choix s'est porté sur la brique qui dure plus longtemps que le bois qui, de surcroît, présente plusieurs inconvénients : incendies, vulnérabilité aux insectes et entretien fréquent. Les briques isolantes à joints minces de 20 cm ont été retenues plutôt que 50, car avec le 20, on peut se permettre de rajouter de la laine de verre qui isole alors beaucoup mieux qu'une brique monomur de 50 sans isolant ajouté, qui respecte tout juste la RT 2012.

- 2 L'isolant que j'ai choisi est la laine de verre (isover, fabriquée par St Gobain, qualité GR 32¹) préférée à tous les matériaux alternatifs qui coûtent beaucoup plus cher pour des performances similaires et, en

outre, beaucoup sont périssables alors que la laine de verre est minérale et ne vieillit pas si elle reste au sec.

- 3 Finalement, j'ai donc opté pour des matériaux standards, performants thermiquement, bon marché et ne nécessitant pas de compétences particulières de la part de l'ouvrier qui les pose : il s'agit de rails alu avec des plaques de plâtre (BA13) et un isolant (laine de verre) de 15 cm.
- 4 **N'avez-vous pas peur qu'elle soit une source de pollution en dégageant dans l'atmosphère des fibres ou du formaldéhyde lié au relargage des polluants émanant des colles ?**
- 5 La laine de verre minérale n'est pas en contact avec l'air intérieur puisqu'elle est encastrée derrière le BA13. La colle est également enfermée. D'autre part, s'il y a des gaz volatiles, ils ne seront émis qu'au début, puisque, par définition, ensuite ils se seront évaporés ! Enfin la maison étant mieux ventilée, leur concentration est de ce fait plus faible que dans une maison standard.
- 6 **La laine de verre est posée à l'intérieur, ce qui signifie que vous avez opté pour une isolation intérieure.**
- 7 L'isolation extérieure est souvent plus performante en rénovation car elle supprime les ponts thermiques. C'est ce procédé qu'il convient d'adopter pour isoler mon ancienne maison. En revanche, l'isolation par l'intérieur est plus durable, car l'isolant (forcément fragile car de très faible densité) est ainsi à l'abri des intempéries, mais il est alors nécessaire de mettre des ruptures de ponts thermiques en polystyrène ou polyuréthane, ce qui est facile, comme je l'ai fait, lors de la construction, mais impossible à rajouter dans une maison déjà construite.
- 8 **Que pensez-vous de l'isolation extérieure par la végétation ?**
- 9 À mon sens, il s'agit d'un snobisme qui induit des risques de fuite d'eau et d'humidité, tandis que les racines abîment la structure de l'immeuble. L'ensemble complique l'entretien. Pour bien isoler, il faut un matériau de faible densité, car ce n'est pas le matériau qui isole, mais l'air ou le vide qu'il contient. Le béton cellulaire est une possibilité ou la laine de verre ou le polystyrène sont adaptés pour l'isolation des murs par l'extérieur. La densité de la terre est importante : ce

n'est pas un bon isolant, et la terre végétalisée ou humide l'est encore moins.

10 **Mais vous avez opté pour une isolation intérieure. Comment avez-vous pu effacer les ponts thermiques ?**

11 Avec des blocs de polystyrène, puisqu'il s'agit d'éviter que les murs de refend apportent le froid (en hiver) ou le chaud (en été) dans la maison. Les planchers et les murs de refend ne doivent pas être en contact avec les murs extérieurs. La communication thermique mur/plancher ou l'espace entre le mur extérieur et le mur de refend est rempli par du polystyrène extrudé et non expansé. Les deux murs sont néanmoins solidaires, reliés par des ferrailles qui offrent une faible surface de contact avec le mur extérieur et garantissent la solidité mécanique sans conductivité thermique. La même technique est utilisée pour le plancher qui n'est pas en contact directement avec le mur mais il est connecté mécaniquement par des ferrailles qui limitent le transfert d'énergie.

12 **Je suppose que vous avez étudié la question des fenêtres et des ouvertures.**

13 La dimension des fenêtres est minimisée (tout en conservant un éclairage raisonnable dans chaque pièce (fenêtres de 120 x 140 cm). Un mur plein est toujours plus isolant qu'une fenêtre, quel que soit le vitrage utilisé, mais un éclairage est toujours nécessaire et la lumière solaire est la plus agréable. La taille des fenêtres est donc forcément un compromis entre luminosité et performance thermique.

14 Il y a 3 matériaux possibles pour les huisseries de fenêtres : le PVC, l'aluminium et le bois. Le choix se fait sur 3 critères : la performance thermique, le prix et la durabilité. Le PVC arrive en tête sur deux critères, le prix et la performance thermique. L'aluminium est le plus cher et le moins performant thermiquement mais il est le plus durable. Le bois n'est pas durable et nécessite d'être régulièrement entretenu et repeint. Mon choix s'est donc porté sur le PVC. La technologie des vitrages est en pleine évolution, demain les vitres seront plus performantes avec des vitrages semi-intelligents. Ce qui veut dire que les vitres actuelles seront vite obsolètes. Donc il faut utiliser des vitrages accessibles aujourd'hui en sachant qu'ils seront proba-

blement remplacés dans une trentaine d'années par des vitres offrant les technologies qui ne sont pas encore disponibles actuellement.

- 15 J'ai donc choisi des vitrages semi-intelligent avec une isolation renforcée par de l'argon qui se situe entre les deux couches de verre dont l'une est doublée par une couche fine d'oxyde métallique sur une face interne. Cette technologie déjà fabriquée en série par St Gobain ne coûte guère plus cher (quelques euros par m²) ; elle laisse passer au maximum le rayonnement solaire incident et bloque les rayonnements IR émis à l'intérieur de la pièce, de manière à ce que la chaleur intérieure ne soit pas perdue mais que la chaleur incidente puisse passer. Ce système, qui ne coûte que 10 € environ de plus par fenêtre, permet de gagner environ 30 % sur la performance énergétique des fenêtres.
- 16 L'isolation renforcée est devenue obligatoire avec la RT 2012 qui assigne des objectifs pour limiter les déperditions thermiques. Ceux-ci risquent de devenir de plus en plus contraignants, d'autant que les contrôles ont tendance à se durcir. Cette norme à respecter explique pourquoi, pour les constructions neuves, on ne bénéficie pas de crédits d'impôts qui encouragent plutôt la rénovation. Je n'ai bénéficié d'une aide fiscale que pour la pompe à chaleur.
- 17 **Quels sont les corps de métiers auxquels vous vous êtes adressé ?**
- 18 J'avais un budget très contraint donc j'ai dessiné la maison moi-même. Le recours à un architecte est obligatoire donc j'ai pris le moins cher, et je lui ai apporté un plan tout fait avec les contraintes de COS et d'alignement déjà intégrées. J'ai joué le rôle d'un bureau d'études car, à l'époque, je n'ai pas trouvé d'interlocuteurs comprenant l'objectif que je m'étais assigné, à savoir réduire la consommation. C'est moi-même qui ait suivi le chantier, l'architecte ne connaissait pas les techniques d'isolation. J'ai pris un constructeur standard, car même les constructeurs alternatifs n'étaient (à l'époque) pas très compétents pour la haute performance thermique.
- 19 En théorie, cette maison prend un an à construire (comme une maison standard) puisque les corps de métier sont les mêmes ; en choisissant des briques et de la laine de verre, je n'ai pas eu besoin d'avoir recours à des techniques alternatives. Dans la réalité, le chantier a traîné : j'ai obtenu le permis en 2004 mais le premier construc-

- teur avec lequel j'avais signé à fait faillite en cours de route et il a fallu attendre le feu vert du liquidateur pour pouvoir reprendre. Ensuite, le chantier a traîné (période de boom de la construction), la maison a été terminée en 2009.
- 20 J'ai fait moi-même un certain nombre de choses (le puits canadien et les finitions) et surtout j'ai beaucoup surveillé l'avancement de la maison. J'étais continuellement sur le dos des ouvriers puisque j'habitais sur place.
- 21 **Si je résume les messages que l'on peut faire passer en tirant les leçons de votre expérience : il faut être très déterminé au départ sur un objectif de basse consommation et définir un cahier des charges très précis avec l'aide d'un bureau d'études (ou d'un architecte compétent sur les aspects thermiques) à moins d'avoir, comme vous, des compétences techniques. Plus on met la main à la pâte, plus on gagne de l'argent et plus on est sûr d'avoir une réponse adaptée aux besoins. Encore faut-il avoir des compétences et être bien conseillé. Ce que je retiens également, c'est que la pompe à chaleur est le pivot du dispositif tant pour le chauffage que pour l'eau chaude.**
- 22 Oui, j'ai choisi une pompe à chaleur Viessmann eau/eau. L'eau est un meilleur conducteur thermique que l'air, donc le rendement est plus intéressant (meilleur COP, coefficient de performance) qu'avec l'air et l'échangeur est plus compact, avec moins d'entretien et moins de matériaux.
- 23 La performance énergétique d'un climatiseur ou d'une pompe à chaleur (http://www.futura-sciences.com/fr/definition/t/maison-2/d/pompe-a-chaleur_5379/) se traduit par le rapport entre la quantité de chaleur produite par celle-ci et l'énergie électrique consommée par le compresseur. Ce rapport est le coefficient de performance (COP) de la pompe à chaleur. Plus le chiffre est élevé, plus le système est performant. Les meilleures pompes à chaleur ont un COP de 6.
- 24 Le COP d'une PAC air/air est environ deux fois moins bon (COP de 3). En outre, lorsque la source de chaleur est le sous-sol à une profondeur suffisante, le COP eau/eau est constant et ne dépend pas de la température extérieure. Alors qu'avec une PAC air/air, le COP se dégrade avec la température : plus il fait froid, plus le COP baisse.

- 25 Dans ma maison, l'eau, réchauffée par la terre, arrive à 14 °C et elle est refroidie jusqu'à 10 °C par la PAC (circuit extérieur). Cette chaleur est transférée à l'eau du circuit des planchers chauffants dont le retour est à 22 °C environ et qui est réchauffée à 30 °C environ.
- 26 Un thermostat extérieur (sur la façade nord de la maison) adapte la température de l'eau dans les planchers chauffants entre 25 et 30 °C environ.
- 27 **Pouvez-vous nous donner des précisions ?**
- 28 La pompe à chaleur étant encore peu répandue est, pour l'instant, un peu plus chère (quelques milliers d'euros de surcoût) à installer qu'une chaudière à gaz. Mais ensuite, il n'y a plus besoin de payer le gaz, et la quantité d'électricité consommée est minime (et sans CO₂) ! Ma PAC d'une très bonne qualité (Viessmann) a coûté 16 000 € avec un avantage fiscal de 8 000 €, à comparer avec une chaudière gaz qui coûterait environ 5 à 6 000 €. Il faut ajouter le prix du ballon d'eau chaude et celui des planchers chauffants mais, en revanche, le montant de la consommation d'électricité est dérisoire : environ 1 euro par jour incluant chauffage, la climatisation l'été, l'eau chaude domestique, l'éclairage, la ventilation, la cuisson et toutes les consommations de la maison.
- 29 Dans le calcul du COP réel, il ne faut pas oublier les pompes de circulation qui assurent la circulation de l'eau en consommant chacune de 30 à 200 W chacune (selon le type de circuit et de pompe) s'ajoutant à l'énergie consommée par la pompe à chaleur elle-même (1,4 kW). Les COP théoriques (donnés par le constructeur de PAC) ne comptent que l'énergie consommée par la machine mais pas par les pompes de circulation (qui dépendent de chaque installation).
- 30 Dans mon cas, le COP est d'environ 6. Mon ancienne maison consommait 40 kW. La présence d'une pompe à chaleur permet de diminuer la consommation : dans ma nouvelle maison mieux isolée, même quand il fait très froid, la pompe ne tourne que pendant la moitié du temps, donc elle consomme en moyenne sur 24 heures, par temps très froid, moins d'1 kW.
- 31 Dans une maison bien isolée, l'inertie thermique est forte. Dans ma maison à Houilles, en partant d'une maison froide qu'on chauffe, la température augmente de 1 °C toutes les deux heures. À l'inverse, en

couplant le chauffage, la température diminue d'1 °C toutes les deux heures : il faut environ 24 h pour que la maison se refroidisse lorsqu'il fait très froid.

32 **La pompe à chaleur fournit-elle également l'eau chaude sanitaire ?**

33 Pour l'eau chaude, il faut chauffer l'eau à 45 °C, le COP chute donc, jusqu'à environ 4, ce qui est un peu moins bon que le COP de 6 du chauffage, mais ce rendement est toujours bien meilleur qu'avec de l'eau chaude solaire : le soleil peut couvrir en France environ la moitié de la production annuelle d'eau chaude (COP de 2). Et avec la récupération de la chaleur des eaux à l'évacuation, qui récupère la moitié (bientôt les $\frac{3}{4}$) de l'énergie de l'eau chaude, il faut multiplier le gain par le deuxième COP (aujourd'hui 2, bientôt 4). Soit un COP total de 8 actuellement sur ma production d'eau chaude sanitaire. À ma connaissance, c'est un COP record ! Et je vais encore l'améliorer : mon COP sur l'eau chaude passera bientôt à 16 lorsque j'aurai installé mon nouvel échangeur, environ deux fois plus performant sur la récupération d'énergie ! Cela signifie que pour prendre la même douche en chauffant la même quantité d'eau à la même température (donc à confort égal pour l'utilisateur), mon installation consomme 16 fois moins d'électricité qu'un chauffe-eau électrique standard (sans PAC et sans récupération de la chaleur des eaux avant rejet à l'égout des eaux usées). Un facteur 16, c'est tout de même un sacré gain en performance !

34 Il y a des effets secondaires positifs (cercle vertueux) : le ballon d'eau chaude peut alors être dimensionné plus petit (donc moins cher et avec moins de pertes thermiques aussi) de même que la PAC...

35 **La pompe à chaleur sert donc à la fois à chauffer la maison et l'eau chaude sanitaire ; mais on ne peut pas faire les deux en même temps, il y a conflit entre les deux usages : le chauffage de la maison s'arrête-t-il quand il y a besoin d'eau chaude ?**

36 Oui, mais cela ne pose aucun problème. En pratique, une vanne trois voies envoie l'eau chaude sortant de la PAC soit vers le ballon d'eau chaude, soit vers les planchers chauffants. Entre ces deux besoins, c'est l'eau chaude qui est prioritaire. Un thermostat à mi-hauteur du ballon d'eau chaude décide s'il y a besoin ou non de chaleur pour chauffer le ballon d'eau chaude. Le réchauffage du ballon d'eau

chaude avec une puissance thermique de 6 kW (mais une puissance électrique consommée d'environ 1,5 kW) pour prendre quelques douches dure alors moins d'une heure. Or nous avons vu ci-dessus qu'une coupure de chauffage d'une demi-heure entraîne une baisse de température dans la maison de moins de 0,5 °C, ce qui ne se ressent pas du tout en termes de confort. Lorsque le ballon d'eau chaude est réchauffé, en moins d'une heure, la PAC est alors de nouveau pleinement disponible pour le chauffage de la maison *via* les planchers chauffants. La même PAC peut donc satisfaire aux deux usages : chauffage de la maison et chauffage de l'eau chaude. La chaleur étant stockée des deux côtés (dans le ballon d'eau chaude pour l'eau des douches et dans l'inertie thermique pour la maison), le confort est total et parfaitement assuré 24h/24 pour ces deux usages, même si la PAC ne travaille que pour un des deux besoins à la fois.

- 37 **Est-ce qu'elle peut être inversée pour rafraîchir l'atmosphère l'été ?**
- 38 Oui, elle peut fonctionner en période chaude pour rafraîchir l'air, c'est une PAC réversible, mais avec un puits canadien dans le cas de ma maison, ce n'est pas nécessaire.
- 39 Dans une maison standard, avec une pompe à chaleur, on parle de rafraîchissement plutôt que de climatisation l'été, car si l'on rafraîchit trop l'air, la vapeur d'eau se condense sur le plancher froid. Mais avec un puits canadien, dans le cas de ma maison, l'air est desséché à 14 °C par le puits canadien, et l'on peut donc refroidir l'air intérieur de la maison jusqu'à 15 °C sans risque de condensation. Seul ce type de maison (avec puits canadien enlevant l'humidité en excès dans l'air) peut donc véritablement faire de la climatisation à 20 °C en été.
- 40 Le puits canadien occupe une surface de jardin similaire à la surface de la maison. C'est un circuit ramifié de 95 m de long avec des tuyaux d'égout de 20 cm de diamètre. La température est quasiment stable à environ 14 °C (+/- 1 °C environ) entre 2 et 3 m de profondeur. Le puits canadien est autonettoyant grâce à la condensation de l'eau par temps humide et chaud (entre-saison humide à l'automne et au printemps). Il faut bien sûr que le puits canadien ait une pente descendante, de l'entrée vers la sortie (comme un égout, pente d'environ 1 %) avec un puisard en sortie du puits canadien qui évacue l'eau au point bas (lorsque l'air arrive dans la maison).

- 41 Le puits canadien est à la mode, mais c'est un gros travail. Dans mon cas, il a fallu déblayer puis remblayer 1 000 tonnes de terre avec une pelle mécanique. Le coût est estimé à 3 000 € quand on le fait soi-même (1 500 € de location de pelle mécanique et 1500 € de tuyaux). Le puits canadien ne participe pas seulement au préchauffage de l'air de la maison (en hiver) ou à la climatisation de la maison (en été) : l'air issu du puits canadien étant filtré (moins de poussières) et partiellement déshumidifié (en cas de temps humide), participe aussi au confort et à la qualité sanitaire de l'air dans la maison.
- 42 **Quels sont les besoins thermiques globaux de la maison ?**
- 43 Les besoins en énergie autres que le chauffage (éclairage, cuisson, ordinateurs, réfrigérateur, etc.) sont constants toute l'année et, dans mon cas, de 5 kW/h par jour lorsque la maison est habitée, ils ne dépendent pas (ou très peu) du nombre d'habitants.
- 44 Le besoin électrique pour le chauffage varie de 0 à 15 kWh/jour lorsqu'il fait très froid à l'extérieur (-10 °C depuis plusieurs jours). Ce besoin est proportionnel à l'écart entre la température extérieure et la température (20 à 22 °C) dans la maison.
- 45 Hors chauffage, il serait donc possible de stocker dans des batteries ou sous forme d'air comprimé les 5 kWh/jour nécessaires (pendant une semaine 35 kW/h), mais le besoin de chauffage est 3 fois plus important et ne peut être stocké (d'autant que la production photovoltaïque est moindre en hiver quand le besoin de chauffage est le plus important).
- 46 Sauf à faire du chauffage au bois comme appoint (ce qui détruit les forêts, émet du CO₂ et pollue l'atmosphère) une maison, même extrêmement performante thermiquement comme la mienne, ne peut donc pas être entièrement autonome et coupée du réseau EDF.
- 47 Pour stocker l'électricité produite en surplus, on pourrait utiliser l'air comprimé. J'ai envisagé cette solution, mais la présence d'une grosse bonbonne de plusieurs mètres cubes à 300 bars proche d'une maison pose des problèmes de sécurité sans compter le prix qui serait d'au moins 20 000 €. Le rendement énergétique serait d'environ 50 % (il faut dépenser deux fois plus d'énergie électrique pour comprimer l'air qu'on n'en récupère à la sortie).

48 J'ai donc abandonné pour l'instant (en attendant des batteries électriques plus performantes et moins onéreuses dans l'avenir ?) l'idée de la maison autonome qui ne me paraît pas (pour l'instant) compatible avec la vie moderne et le confort d'une maison moderne.

49 Le bois est une bonne solution pour le stockage, mais une maison chauffée au bois pose des problèmes pour la qualité de l'air. Bien que je n'y sois pas trop favorable, j'ai néanmoins prévu une cheminée pour un éventuel chauffage au bois.

50 **Comment réglez-vous la température intérieure ?**

51 Il n'y a pas de thermostat dans la maison. La puissance de chauffe de la PAC est contrôlée par un thermostat extérieur. La maison est maintenue à une température entre 20 et 22 °C. Quand j'ai construit ma maison, je pensais la chauffer à 18 °C pour faire des économies, mais c'est une réflexion de l'ancien système de pensée (selon le slogan : un degré de gagné c'est 7 % d'énergie économisée). En réalité, quand une maison permet de gagner un facteur cent sur la consommation d'énergie et mille sur les émissions de CO₂, cela ne sert plus à rien de vouloir se priver et de rogner sur le confort : on ne s'embête plus pour quelques centimes et on peut chauffer comme on veut sans impact environnemental. Le confort total ne coûte que quelques centimes. C'est le changement technologique qui apporte des gains très importants, à la fois environnementaux et financiers et sur lequel il faut concentrer nos efforts. La privation n'apporte pas grand-chose en regard des gains techniques possibles parce qu'on a bien construit sa maison. Le confort est donc compatible avec l'écologie, c'est plutôt une bonne nouvelle...

52 **Pour compléter votre dispositif, avez-vous installé des panneaux solaires ?**

53 Effectivement, 12 panneaux solaires occupent moins de la moitié de la surface du pan sud de mon toit. Ces 20 m² de capteurs produisent 3 270 kWh par an, et la consommation totale de la maison est de 3 100 kWh/an. La maison est donc positive en énergie. Le surplus me permet de recharger la batterie de ma Zoé (ma voiture électrique avec une autonomie de 150 km).

54 **Quelle est la rentabilité financière de ces panneaux ?**

- 55 Même en plein hiver, avec un peu de soleil, la production n'est pas négligeable, elle peut atteindre presque 10 kWh par jour, alors que le besoin est de 20 dont 15 pour la pompe à chaleur. La rentabilité financière est énorme et dépasse toutes les rentabilités des offres de placements financiers. C'est beaucoup mieux qu'un livret A ! Dans ce cas, l'investissement solaire est rentable, mais bien sûr ce n'est que grâce aux aides fiscales. L'installation coûte 15 000 € dont il faut déduire 5 000 € de crédit d'impôts. Je reçois chaque année, de la part d'ERDF, un chèque de 1 900 € qui correspond au montant de l'électricité rachetée par ERDF au prix de 58 centimes le kWh qui ne coûte que 4 centimes quand il est produit par le nucléaire. Le rendement financier est donc de presque 20 % net d'impôts (2 % pour le livret A). En 5 ans, les frais d'installation sont remboursés et l'État s'est engagé sur ce même tarif pour 20 ans (indexé sur le prix de l'électricité), alors que le prix de l'électricité augmente constamment. Du point de vue de l'argent public, c'est un scandale. L'électricité consommée par la maison est par ailleurs de 300 € par mois environ. Je verse donc 300 € à ERDF par an et de l'autre côté je perçois 1 900 €. J'ai tout de même investi 10 000 € au départ. C'est un excellent investissement financier, mais ce n'est pas grâce au soleil : le prix très élevé (des milliards d'euros par an au niveau national) en est payé par les consommateurs d'électricité à travers la CSPE. L'électricité devient beaucoup plus chère pour qu'un *happy few* puisse ainsi bénéficier de l'électricité solaire. Si tout le monde devait produire son électricité ainsi, cela ne fonctionnerait pas : il faudrait multiplier le prix de l'électricité par 15 !
- 56 **Ce tarif est aussi avantageux pour l'électricité d'origine éolienne. Avez-vous pensé à l'installation de ce système ?**
- 57 Avec une éolienne domestique hors ZDE (Zone de développement éolien), il n'y a pas de tarif de rachat. Le tarif de vente des kWh éoliens avec un label « vert » est alors plus bas que celui que le prix moyen du marché de l'électricité, car l'éolienne produit souvent au moment où EDF n'en a pas besoin.
- 58 J'ai effectivement envisagé l'installation d'une éolienne : j'ai fait une étude de vent en installant un anémomètre au-dessus de mon toit, pour savoir exactement ce que produirait une éolienne que j'y installerais. Mon cas est *a priori* plutôt favorable : j'habite en haut de la rue,

ma maison est la plus haute du quartier, et elle est plus haute que tous les arbres aux alentours. Mais, au terme de cette expérience, je suis très dubitatif sur l'éolien et plus positif sur le solaire : la production éolienne, même avec une éolienne de 3 mètres de diamètre serait au mieux le dixième environ de ma production solaire. En fait, il n'est jamais rentable d'installer des éoliennes à moins de 12 mètres de hauteur en ville ou le vent est perturbé par les inégalités du relief. Il ne faut surtout pas croire les fausses promesses des vendeurs d'éoliennes. Ils ne s'engagent jamais par écrit sur la production attendue et font miroiter (sans l'écrire) des chiffres de production fantaisistes, basés sur un vent hypothétique (flux laminaire en altitude) n'ayant rien à voir avec la réalité : le vent à basse altitude en milieu urbain à 12 mètres de hauteur (pas de permis de construire) même quelques mètres au-dessus des toitures est en effet fortement tourbillonnant et peu productif (10 fois moins que ce qui est annoncé).

- 59 Mes réticences ne viennent pas des inconvénients attribués habituellement à l'éolien. En décibels, une éolienne domestique de bonne qualité ne fait pas plus de bruit qu'une machine à laver (ou un lave-vaisselle) et celles à axe vertical font moins de bruit. Il est donc possible de limiter cet inconvénient. Sa présence sur le toit n'est pas forcément inesthétique, en tout cas pas plus qu'un lampadaire et moins qu'un poteau électrique ; en revanche, l'installation de cet engin de 120 kg n'est pas sans danger et toute intervention sur le toit nécessite une nacelle spéciale. La moindre intervention (au moins une fois par an) coûte au moins 1 000 €.
- 60 La performance d'une éolienne est difficile à évaluer puisqu'elle dépend de la vitesse du vent. Or ces données sont difficiles à évaluer car elles sont liées à un site précis. Les seuls chiffres de référence sont donnés par la station Météo France la plus proche, Le Bourget dans mon cas. Météo France fournit pour chaque station la vitesse du vent moyen mesurée à environ 50 mètres de hauteur, là où le vent est bien laminaire et stable (pas tourbillonnant), ce qui ne permet pas de calculer la production sur un toit à 10 ou 12 mètres de haut. Les fabricants d'éoliennes le savent très bien et ne s'engagent jamais. J'ai donc fait une étude de vent. J'en conclus qu'il est impossible de rembourser l'installation en milieu urbain d'une petite éolienne domestique à 12 mètres de hauteur. J'ai posé un anémomètre girouette connectable,

payé 70 €, sur le toit, il est relié à une station météo qui enregistre 10 paramètres (dont la vitesse et la direction du vent) toutes les minutes ou toutes les 10 minutes. Le vent moyen au dessus de ma maison est de 2 m/s et non pas de 5 m/s comme l'indiquent les chiffres de la station du Bourget. Or les éoliennes les plus courantes ne démarrent pas en dessous de 3 m/s, alors que les trois quarts du temps, on est en dessous de cette vitesse. La production est ensuite proportionnelle au cube de la vitesse du vent, donc une vitesse du vent moyen 2,5 fois plus faible donnera une production réelle $2,5 \times 2,5 \times 2,5 = 15$ fois plus faible que celle qu'on attendrait à partir des vitesses de vent de Météo France (en l'absence d'étude de vent propre à chaque site, ce mode de calcul est celui proposé par les fabricants d'éoliennes). Une petite éolienne domestique (de 2 ou 3 mètres de diamètre) peut coûter entre 10 000 et 20 000 € auxquels il faut ajouter 1 000 € par an pour la maintenance. Pour avoir le droit de revendre l'électricité à EDF, il faut payer 500 € pour installer le compteur puis payer environ 50 € par an la location du compteur, alors que la production permet de gagner elle aussi environ 50 € seulement. Le seul avantage d'une éolienne, c'est donc son côté médiatique, c'est un investissement publicitaire puisque l'éolienne est très visible, elle attrape les journalistes « comme les mouches sur le vinaigre ». Les entreprises qui installent des éoliennes le font pour des questions d'image, car ce n'est pas rentable financièrement. Les particuliers qui installent des éoliennes dans leur jardin ou sur leur maison en ville ou en banlieue se donnent bonne conscience, mais ce sont des pigeons qui se font plumer financièrement. Le business des éoliennes domestiques n'est pour l'instant qu'une vaste escroquerie. Pour que cela change, il faudrait que le prix d'installation soit divisé par 10 et que le prix de revente de l'électricité produite soit multiplié au moins par 2. On en est loin !

61 **Vous nous avez donc montré l'importance des techniques d'isolation et les moyens de produire de l'énergie, mais il ne faut pas oublier le maillon essentiel de la ventilation qui permet, précisément, d'éviter la pollution de l'air intérieur à laquelle un trop grand confinement pourrait contribuer.**

62 Effectivement, pour bien respirer, il faut faire rentrer de l'air froid qu'il convient de réchauffer, grâce à un échangeur double flux, si on ne veut pas perdre de l'énergie. Le puits canadien permet d'avoir un

air à température stable d'environ 14 °C toute l'année, plutôt que de faire rentrer directement de l'air extérieur dont la température varie. Il suffit ensuite de chauffer l'air de 14 à 20 °C en hiver. En été, on est gagnant, la présence du puits canadien est encore plus intéressante pour la climatisation que pour le préchauffage de l'air en hiver car le décalage (14 °C plus froid que les 20 °C attendus dans l'habitation) est alors dans le bon sens (fraîcheur) et climatise donc gratuitement la maison. En outre, ce système est très robuste et ne nécessite pratiquement pas de maintenance. Le changement de filtre se fait sans problème tous les 3 à 6 mois. L'air est filtré trois fois avant d'arriver dans les pièces. On peut éventuellement nettoyer les filtres 2 ou 3 fois et s'en resservir plusieurs fois.

63 **Comment fonctionne ce système dit à « double flux » ?**

64 Un ventilateur qui consomme 14 watts aspire l'air extérieur le fait passer dans le puits canadien (dont il ressort à 14 °C environ) puis passe (en hiver seulement) dans l'échangeur et en ressort à 19 °C pour être distribué dans les pièces de la maison. Un deuxième ventilateur extrait l'air usé de la maison et le fait circuler dans l'échangeur où (en hiver seulement) il réchauffe de 14 à 19 °C l'air venant de l'extérieur. L'efficacité du système dépend de la vitesse du flux qui, si elle augmente, consomme un peu plus d'énergie. Le ventilateur tourne en basse vitesse 24 h/24 mais il peut être utilisé en vitesse moyenne ou forte lorsqu'on veut ventiler davantage. Si la vitesse de l'air dans les tuyaux dépasse 2 m/s, un léger sifflement devient audible. La vitesse de l'air (débit de ventilation) peut être pilotée de différentes manières, soit manuellement (on peut décider d'augmenter ou de diminuer le taux de ventilation au moyen du boîtier de commande), soit automatiquement selon les heures de la journée en fonction de l'activité des habitants, par hydrométrie ou encore par un détecteur de CO₂ placé sur l'air du retour. Ce dernier système est celui que j'ai adopté avec un capteur que j'ai posé personnellement sur l'air de retour après avoir traversé les dix pièces de la maison. Le détecteur déclenche à 450 ppm ; quand le CO₂ sur l'air de retour (sortant de la maison) dépasse ce seuil, le ventilateur passe en vitesse moyenne. 99 % du temps, quand je suis seul ou seul avec mon fils dans la maison, la petite vitesse suffit, mais quand on est nombreux, il détecte plus de CO₂ dans l'air et passe automatiquement en vitesse moyenne. Quand la vitesse augmente, le rendement baisse un peu.

65 **Pourtant, l'installation de ce système n'est pas encore très fréquente. Pourquoi ?**

66 Pourtant, c'est un système de ventilation qui ne consomme pas ou très peu d'énergie puisque l'air qui rentre est chauffé par l'air qui sort. La VMC double flux permet de ne pas dépenser (ou très peu) pour chauffer l'air. Plus il fait froid, plus on gagne avec la VMC double flux qui sera donc plus rentable au Canada qu'en climat méditerranéen.

67 En revanche, le rendement du système dépend de son dimensionnement. J'ai opté pour un débit allant jusqu'à 450 m³ par heure alors qu'en pratique 100 m³ par heure environ suffit largement. En surdimensionnant ainsi, je pourrai renouveler l'air de la maison toutes les deux heures. Il ne faut pas se tromper dans ces calculs que seuls des ingénieurs de bureaux d'étude peuvent mener. Concevoir une maison écologique est un métier d'ingénieur.

68 Le circuit d'air doit être équilibré à chaque étage pour éviter les courants d'air dans la cage d'escalier : dans les chambres et le salon, l'air arrive (bouches soufflantes), alors que dans les pièces humides, l'air est aspiré (bouches aspirantes). Au sous-sol, l'air chaud arrive par un tuyau de grand diamètre (20 cm) dans des caissons de distribution antibruit et en ressort par plusieurs tuyaux plus petits qui repartent vers les chambres et le salon. Un deuxième circuit fait le retour de l'air qui vient de la cuisine, des WC et des salles de bains (pièces odorantes et humides).

69 **La qualité de l'air intérieur est-elle améliorée ?**

70 En effet, puisque la maison est mieux ventilée, sans pertes thermiques, donc l'air y est plus riche en oxygène et plus pauvre en CO₂. Bref, on y respire mieux que dans une habitation classique. D'autant que l'air est filtré 3 fois (moins de poussières). L'hygrométrie est également régulée, la maison est un peu plus sèche qu'une habitation ordinaire : hygrométrie constante autour de 60 % (hygrométrie bénéfique pour la santé), car l'air est légèrement déshumidifié par le puits canadien.

71 **Que faites-vous pour pallier cet inconvénient ?**

72 Ce n'est pas un inconvénient. Au contraire, c'est un avantage puisque ce chiffre est proche de la zone d'hygrométrie optimale pour la santé.

Cela permet aussi de ne pas utiliser de sèche-linge. L'air intérieur n'étant jamais saturé en humidité, la maison se comporte en effet comme un sèche-linge, et je fais sécher le linge à l'intérieur, ce qui économise le prix et la consommation d'un sèche-linge, inutile dans ce type de maison. Si je trouve que l'air est parfois un peu trop sec, alors je fais sécher le linge dans la chambre, ce qui y remonte automatiquement et gratuitement le degré d'hygrométrie. Chaque chambre est équipée d'un petit porte-serviette, sur lequel chacun peut, s'il le souhaite, faire sécher son linge ou disposer une serviette humide. Dans cette maison, non seulement la température est parfaitement régulée et l'air parfaitement propre (filtré 3 fois), mais ainsi l'hygrométrie, qui se trouve dans la zone optimale pour la santé, est ainsi réglable également en fonction des désirs et du confort de l'habitant. La station météo qui mesure l'hygrométrie intérieure toutes les 10 minutes montre bien que l'humidité augmente quand j'étends ma lessive. En outre, je dors la fenêtre ouverte en été (hors période de chauffage), sans perdre d'énergie puisque la maison n'est pas chauffée. L'aération ne perturbe pas le système puisque les flux d'air entrant et sortant de la maison sont par ailleurs équilibrés.

73 **On voit bien qu'il s'agit d'un véritable système isolation-chauffage-aération qui doit être pensé comme un tout. Avez-vous d'autres astuces qui complètent ce système ?**

74 Oui, par exemple, la récupération de la chaleur des eaux usées, j'ai imaginé un système qui a les mêmes fonctions qu'un chauffe-eau solaire. Toute l'eau chaude consommée dans la maison passe dans le même tuyau avant d'être rejetée à l'égout. Or j'ai mesuré que lorsque je prends ma douche à une température de 37 °C, l'eau évacuée repart à 34 °C. Presque toute la chaleur s'y trouve donc encore emmagasinée et est récupérable. D'où l'idée de réchauffer l'eau froide qui arrive à 14 °C en la faisant passer dans un tuyau de cuivre réchauffé par l'eau chaude qui sort. C'est un échangeur eau-eau (à tubes concentriques et à contre-courant). En une minute, la température de l'eau froide réchauffée en sortie d'échangeur se stabilise à 24 °C (rendement de 50 % : la moitié de la chaleur est récupérée), ce qui permet de moins solliciter deux fois moins le chauffe-eau, soit un rendement identique à celui d'un kit solaire sur le toit qui coûte 8 000 € à installer (avec des problèmes de surchauffe en été à gérer, lorsqu'il y a trop de soleil), alors que mon système m'a coûté moins de

100 € de tuyaux. Je prépare une version 2.0 de ce système qui sera deux fois plus efficace et devrait récupérer non plus la moitié mais les trois quarts de la chaleur des eaux usées. Ce type d'échangeur existe (beaucoup plus gros) dans l'industrie, mais je suis à ma connaissance le premier à en avoir installé un dans une maison, à usage domestique.



Photo 3. Le système de récupération de la chaleur des eaux usées.

La seule contrainte consiste à ne pas mettre trop de lessive dans les machines à laver pour ne pas encrasser trop vite l'échangeur. Il y a plusieurs manières de construire cet échangeur. On pourrait imaginer une sorte de baignoire dans laquelle passerait l'eau chaude, dans laquelle un serpentín en cuivre serait parcouru par l'eau froide, avec un rendement thermique approchant les 100 %, ce qui consommerait 6 fois plus de cuivre que mon

échangeur version 1.0, mais cela resterait largement rentable par rapport à un kit solaire.

Vous évoquez une contrainte pour améliorer le système, mais les économistes insistent plutôt sur « l'effet rebond » dans la mesure où le gain énergétique effectué, à prix constant, permet d'améliorer le confort comme vous l'avez évoqué pour la température.

Ma réponse est double, pour s'investir dans un mode de consommation sobre en énergie, il faut à la fois s'investir dans un mode de vie adéquat et optimiser tous les équipements de la maison dans les moindres détails.

Quels sont les détails auxquels vous faites allusion ?

Par exemple, l'utilisation de Led, ampoules à basse consommation qui n'existaient pas quand j'ai débuté la construction de ma maison. Depuis, j'ai multiplié les Led, surtout dans les couloirs car la lumière produite est trop faible pour pouvoir lire.

J'ai encore d'autres exemples :

Ma machine à laver est standard mais elle consomme trois fois moins d'électricité qu'une machine ordinaire car 80 % de la consommation d'électricité d'une machine à laver sert à chauffer donc, au lieu de mettre de l'eau froide dans la machine, l'eau est chauffée par la pompe à chaleur à environ 45 °C, ce qui est amplement suffisant pour une lessive. Si, par hasard, je souhaite de l'eau chauffée à 60 °C, j'augmente l'activité de la pompe à chaleur, le COP diminue, il n'est qu'un facteur 2, mais le système reste rentable. Cela nécessite bien sûr d'alimenter la machine à laver en eau chaude directement. Ce qui confirme le rôle essentiel joué par la pompe à chaleur et, en même temps, la nécessité de penser tout le système au moment de la construction. Le « zéro énergie » est avant tout réservé à la construction neuve.

Dans la cuisine, on peut utiliser aussi une pompe à chaleur pour la cuisson des aliments. J'ai transformé à cet effet une ancienne armoire sèche-linge, récupérée à la casse, qui comportait à l'origine une résistance chauffante que j'ai enlevée, et une sortie d'air. J'ai rajouté du polystyrène pour l'isoler et un moteur de frigo avec une plaque chaude et une plaque froide à l'intérieur. Le compresseur suffit pour faire monter en température. L'air est chauffé par la plaque chaude, il déshydrate légèrement les aliments, la plaque froide se prend en glace. L'air froid et sec arrive en bas et il se réchauffe sur la plaque chaude. Un courant d'air chaud et sec va ainsi circuler par convection et va cuire légèrement, doucement, les aliments (cuisson à l'air sec, à basse température). Je crois que c'est un prototype

unique de cuisson par pompe à chaleur. C'est un système de cuisson que j'appelle UBT (ultra-basse température).

Au total, une bonne isolation de la maison permet de gagner un facteur 20 à 100 sur la facture énergétique, mais il ne faut pas négliger les autres économies : la pompe à chaleur gagne un facteur 5 à 6, les ampoules choisies se traduisent par un gain de 5 à 10, la machine à laver me permet de gagner un facteur 3, le sèche-linge devient inutile, etc.

Quel est votre système de cuisson ?

Celui que j'ai adopté ne consiste pas seulement à faire des économies d'énergie mais à respecter le mode de cuisson naturel des aliments. Pour bien cuire, il n'est pas nécessaire d'atteindre des températures élevées, mais il faut maintenir la chaleur suffisamment longtemps. La cuisson naturelle s'effectue à 45 °C, température maximale observée dans la nature, dans le désert. La nature ne chauffe pas les aliments à 100 °C. Ce mode de cuisson à basse température (45 °C au lieu de 100 °C) est optimal pour la santé car il respecte les enzymes et les vitamines des aliments. On remarquera aussi que la cuisson naturelle est une cuisson à l'air (au soleil) et non pas à l'eau. Dans la nature, aucun animal ne fait cuire ses aliments dans l'eau bouillante !

Là on rejoint presque une philosophie de la vie...

Oui, j'ai écrit plusieurs livres sur ces sujets. Effectivement, la meilleure performance énergétique culinaire consiste à ne pas cuisiner du tout, ce qui est gratuit ! Il est possible de se nourrir ainsi d'aliments crus, ce qui ne consomme alors pas du tout d'énergie. Mais c'est un autre sujet. Vous trouverez dans toutes les bonnes librairies de nombreux livres (dont les miens) sur l'alimentation naturelle.

On a pratiquement, avec vous, fait le tour de votre système-maison. Pouvez-vous nous présenter un bilan de vos expériences ?

Il est possible de construire comme je l'ai fait une maison très économe en énergie. Ce type de maison est ensuite très agréable et presque gratuite à habiter. Mais la conception est un métier d'ingénieur. J'ai joué le rôle d'un bureau d'étude dont on ne peut pas faire l'économie pour la conception du système technique. On n'a pas droit à l'erreur quand on conçoit le système et qu'on dimensionne les tuyaux, car une fois qu'ils sont scellés dans le mur, c'est difficile de changer. J'ai tout dimensionné moi-même, donc si je constate des dysfonctionnements, je suis seul responsable. Heureusement, dans mon cas, tout fonctionne, je ne regrette rien et les rendements sont à peu près ceux que je prévoyais.

Mais si la maison est mal conçue, les résultats ne sont pas toujours à la hauteur des espérances et les constructeurs ne peuvent pas tout garantir, car le fonctionnement du système dépend d'une multitude de facteurs et même de la façon dont on habite la maison.

Votre implication et votre compétence technique faussent-elles le bilan financier ?

Pas tant que cela. La maison m'a coûté exactement 235 000 € (prix total de la construction, entièrement confiée à un constructeur), à quoi il faut ajouter le coût de la pompe à chaleur (faisant l'objet d'un lot séparé) qui m'a coûté 8 000 € (avec un avantage fiscal de 8 000€). Même en ajoutant le prix des équipements et des petites finitions que j'ai faites moi-même, on n'arrive pas à 300 000 €. J'ai fait réaliser le gros-œuvre avec un cahier des charges très précis et des fournisseurs imposés. J'ai réalisé moi-même le puits canadien et posé moi-même la ventilation double flux car l'entreprise que j'avais choisie ne savait pas faire, mais cela ne change pas tellement l'équation économique.

En réalité, construire une maison très performante ne coûte quasiment pas plus cher (il n'y a que quelques tuyaux et câbles électriques en plus à prévoir) que de construire une passoire à calories classique en parpaings : il y a le même nombre de m² de matériaux à poser. Simplement, la maison est conçue en gardant en permanence l'idée d'améliorer la performance thermique. La méthode de pose est parfois légèrement différente mais pas forcément plus chère (par exemple pour éviter les ponts thermiques). Les choix sont donc faits différemment et les matériaux sont légèrement différents (mais pas forcément plus chers).

En conclusion, ce prototype démontre qu'il est possible de construire une maison positive en énergie très performante thermiquement pour un prix raisonnable et de manière reproductible.

Une telle maison est non seulement très performante mais aussi agréable, confortable à habiter (eau chaude illimitée pour les douches, grande stabilité thermique été comme hiver, même en l'absence de chauffage ou de climatisation, elle est climatisée tout l'été par le puits canadien, meilleure qualité de l'air...) et elle est durable dans le temps (construction en briques = construction en « dur »).



Photo 4. Bruno Comby devant les arrivées d'air et eau.



Photo 5. Gains isolées des nombreux tuyaux qui traversent la cave

—

NOTES

1 La laine de verre du futur est le calibre 32 imposé par la RT 2012, mais beaucoup de constructeurs posent encore du 38 (dont la performance thermique est 20 % moins bonne, à épaisseur égale) qui doit être progressivement éliminée.

AUTEURS

Lionel Charles

Isabelle Roussel