

La chimie au service de l'efficacité énergétique : comment concevoir un habitat performant ?

Johann Souvestre est ingénieur « efficacité énergétique » et concepteur certifié de maison passive dans l'entité Efficacité énergétique et construction du groupe BASF.

BASF, leader mondial de la chimie, travaille pour de nombreux secteurs industriels : l'automobile, l'emballage, l'agroalimentaire, la cosmétique, l'industrie pharmaceutique et la construction.

Le lien de BASF avec l'habitat se situe à deux niveaux :

- BASF possède sa propre société de logement (LUWOGÉ) créée en 1926, qui gère un parc de plus de 7 500 logements sociaux à coût modéré destinés essentiellement aux ouvriers de BASF, localisé près du site industriel historique à Ludwigshafen (Allemagne). De ce fait, la charge énergétique dans le coût des loyers est une problématique au cœur des préoccupations du

groupe depuis de nombreuses années ;

- par ailleurs, BASF fabrique plus de 40 000 produits pour l'habitat, allant des produits pour la structure des bâtiments (adjuvants pour bétons, mortiers de réparation, etc.) aux produits pour l'isolation, mais également ceux qui concernent la finition intérieure comme les peintures ou les colles (**Figure 1**).

Depuis de nombreuses années, BASF établit sa stratégie en fonction de l'étude des grands enjeux de demain et essaye d'y apporter des solutions. Par exemple, sachant que les véhicules automobiles augmenteront de manière importante d'ici 2030, comment



Figure 1

Avec son parc de plus de 7 500 logements sociaux, l'entreprise BASF est fortement impliquée dans les problématiques énergétiques liées à l'habitat, à travers la production de nombreux matériaux de construction, notamment ceux destinés à l'isolation thermique.

peut-on réduire les consommations de carburant et les émissions de gaz à effet de serre liées ? S'agissant du domaine de la construction et de l'habitat, comment pouvons-nous prévoir un déplacement des populations vers les villes, comment peut-on aider à concevoir des villes peu consommatrices d'énergie ? Dans le domaine de la santé et de la nutrition, comment contribuer à garantir l'accès à l'eau et à l'alimentation pour tous, compte tenu de l'augmentation du nombre d'individus sur Terre ? Enfin, étant donné les besoins accrus en énergies primaires d'ici 2030, comment contribuer à cet approvisionnement en énergie de façon efficace et respectueuse de l'environnement ?

1 Comment économiser l'énergie des bâtiments ?

1.1. Les deux leviers d'action

Comme il est montré dans le **Chapitre de J.-C. Bernier**, le premier levier d'action pour économiser l'énergie est de réduire le besoin énergétique des bâtiments *via* une bonne isolation, puis de jouer ensuite sur l'offre énergétique, c'est-à-dire de diversifier les modes de production d'énergie pour s'orienter de plus en plus vers les énergies renouvelables comme l'énergie solaire (voir à ce sujet les **Chapitres de D. Lincot, D. Plée et D. Quénard**) ou l'énergie éolienne.

Mais il faut toujours le redire : « *l'énergie la moins chère*

est celle que l'on ne consomme pas ». Ainsi le premier levier que nous allons examiner est celui de l'isolation.

1.2. Comment concevoir un habitat passif, consommant peu d'énergie ?

Établissons un parallèle simplifié entre un bâtiment et l'homme (**Figure 2**) :

1. Ne pas isoler un bâtiment revient en quelque sorte à placer un homme nu dehors par $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, ce qui est bien peu confortable !

2. Pour isoler un bâtiment, la première question à se poser est : où est-il le plus souhaitable de maintenir un certain confort au niveau de la température ? Dans le cas d'une maison individuelle, faut-il y inclure la cave et le grenier ? Une fois choisi, ce volume chauffé – ou volume thermique –, doit ensuite être entièrement bien isolé, en commençant par la dalle : c'est un peu comme mettre de bonnes bottes !

3. Ensuite, l'isolation de la toiture peut être imagée par le fait de porter un bon bonnet.

4. Des fenêtres performantes, qui limitent au maximum les déperditions de chaleur mais qui permettent également de profiter de la source d'énergie gratuite qu'est le rayonnement solaire, sont à comparer avec un bon masque de ski.

5. Isoler les murs extérieurs revient à enfiler un bon manteau.

6. Le traitement des ponts thermiques, c'est-à-dire des endroits où l'isolation est plus faible (par exemple la liaison entre le mur extérieur et les

fenêtres, ou la liaison entre le mur extérieur et la toiture), peut être imagé par l'utilisation d'une bonne écharpe ; car même avec un bon manteau et un bon bonnet, l'air qui passe au niveau du cou est peu confortable pour l'homme, et c'est aussi le cas pour le bâtiment.

7. Mettre de bons gants est l'équivalent des balcons qui dépassent et qu'il faut également traiter.

8. Une fois que le volume choisi est bien isolé, il faut veiller à ce qu'il demeure étanche, de la même manière qu'un bon manteau ne doit pas posséder de fermeture défailante : l'air chaud intérieur ne doit pas sortir, parallèlement au fait que l'air froid extérieur ne doit s'infiltrer.

9. Néanmoins, l'air intérieur doit être renouvelé car il est primordial d'en assurer la bonne qualité (voir les **Chapitres de M. J. Ledoux et V. Pernelet-Joly**) et, de la même façon que l'homme a besoin d'air pour respirer, le bâtiment en a besoin, et ce d'autant plus qu'il est très étanche.

10. Si le bâtiment est très étanche, deux moyens existent pour renouveler l'air intérieur :

– par les ventilations dites simple flux, qui consistent à extraire l'air du bâtiment et à apporter de l'air neuf *via* des ouvertures situées en général au niveau des fenêtres. L'inconvénient est que les calories de l'air chaud extrait ne sont pas récupérées, et donc que l'énergie utilisée pour le chauffer est perdue ;

– par les ventilations dites double flux, qui se développent

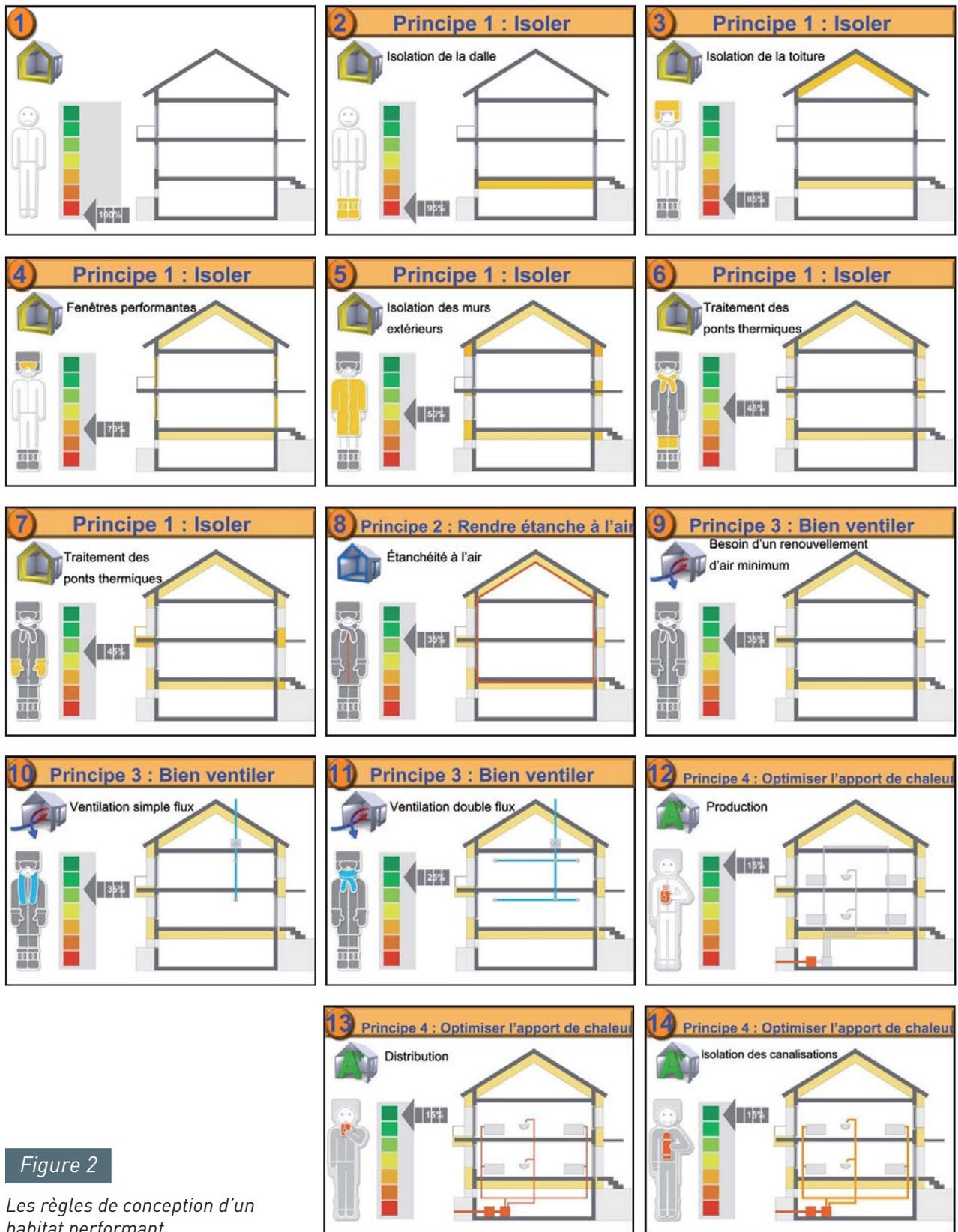


Figure 2
 Les règles de conception d'un habitat performant.

de plus en plus, où à la fois l'air est insufflé de façon mécanique dans les pièces dites « sèches » du bâtiment, tandis qu'il est extrait des pièces

« humides » (cuisine, sanitaires...). Les flux entrants et sortants se croisent au niveau d'un échangeur de chaleur qui permet de récupérer jusqu'à

90 % des calories de l'air extrait, ce qui représente une économie d'énergie en termes de chauffage du bâtiment.

11. Un bâtiment bien isolé, étanche à l'air et bien ventilé a néanmoins besoin d'une certaine production de chaleur, un peu comme notre homme bien habillé avec un très bon manteau, muni d'une très bonne fermeture éclair, qui a tout de même besoin de manger et de boire pour se sentir bien. Cet apport de chaleur doit lui aussi se faire de manière efficace, en préférant par exemple des chaudières possédant de bons rendements.

12. Il faut ensuite apporter la chaleur de la chaudière jusqu'aux pièces où elle est émise et la distribuer de façon efficace, en veillant à limiter au maximum les longueurs de canalisation entre la production de chaleur et l'émission. Il faut donc aussi isoler ces canalisations pour éviter les déperditions.

Présentées de manière simplifiée, ces conditions montrent comment concevoir un habitat performant sur le plan énergétique dans lequel la réduction des consommations d'énergie réduira de manière significative les factures correspondantes.

2 Où intervient la chimie dans la réalisation d'un « habitat passif » ?

2.1. Les matériaux isolants et la chimie

De nombreux matériaux isolants sont issus de la chimie, les plus connus étant le

polystyrène et le polyuréthane (*Encart : « Des polymères synthétiques pour notre quotidien. Exemples du polystyrène et du polyuréthane »* et *Figure 3*).

Les panneaux de polystyrène sont fréquemment utilisés pour l'isolation des murs extérieurs, tandis que le polyuréthane, avec de très bonnes propriétés de compression, est fréquemment utilisé pour l'isolation des toitures.

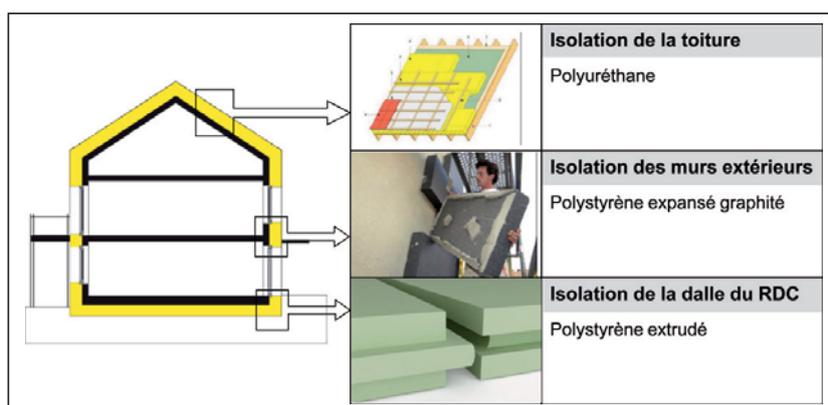
Ces matériaux sont les plus courants mais ne sont pas les seuls. Beaucoup d'autres matériaux isolants possèdent des composants d'origine chimique. C'est par exemple le cas de la laine minérale ou des matériaux dits « verts », comme la laine de bois, dans lesquelles les liants entre les différentes fibres sont souvent issus de la chimie (voir aussi les *Chapitres de P. Hamelin et G. Némoz*).

2.2. La place de la chimie dans la chaîne de valeurs de la construction

Les industriels de la chimie se retrouvent souvent en amont de la chaîne de valeurs de la construction (*Figure 6*). Prenons l'exemple du Neopor® (*Figure 7*). BASF produit des billes de polystyrène

Figure 3

Exemples de matériaux isolants issus de la chimie.



DES POLYMÈRES SYNTHÉTIQUES POUR NOTRE QUOTIDIEN

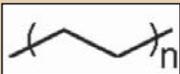
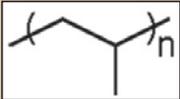
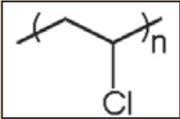
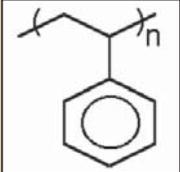
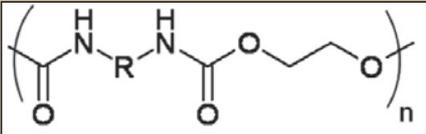
Exemples du polystyrène et du polyuréthane

Molécules formant de longues chaînes constituées par l'enchaînement d'une ou plusieurs unités répétitives appelées monomères, et liées entre elles par des liaisons covalentes, les polymères se trouvent en abondance dans la nature, dont on peut citer des polysaccharides comme la cellulose (bois, coton...) et l'amidon (pomme de terre, maïs...), des protéines (laine...) (*voir le Chapitre de D. Gronier*), ou encore le caoutchouc naturel, largement exploité par l'industrie, et qui peut également être produit de manière synthétique par réaction chimique de polymérisation*.

Les polymères synthétiques (*Tableau 1*) ont été développés après la Seconde Guerre mondiale, grâce à l'exploitation du pétrole, devenant aujourd'hui les composants majeurs d'un grand nombre de matériaux de notre quotidien : pneumatiques, emballages, isolants, textiles...

Tableau 1

Structures de polymères synthétiques courants.

Nom	Structure
Polyéthylène (PE)	
Polypropène (PP)	
Polychlorure de vinyle (PVC)	
Polystyrène (PS)	
Polyuréthane (PU)	

Les polymères sont souvent classés d'après leurs propriétés mécaniques en fonction de la température. On distingue ainsi :

- les polymères **thermoplastiques**, qui deviennent malléables lorsqu'ils sont chauffés au-dessus d'une certaine température et qui, en dessous, redeviennent durs ;
- les polymères **thermodurcissables**, qui durcissent de façon progressive sous l'action de la chaleur pour atteindre un état solide irréversible ;
- les **élastomères**, qui sont déformables de manière réversible.

Le polystyrène

Parmi les polymères synthétiques les plus connus, le polystyrène est largement répandu dans notre quotidien, que ce soit pour les emballages alimentaires ou pour l'isolation des bâtiments (cloisons, planchers...). Facile à transformer, ce matériau peut se présenter sous différentes formes : cristal, choc, expansé, etc. Le polystyrène cristal est une matière dure et cassante, pouvant être transparente ou colorée. Ses propriétés mécaniques et thermiques peuvent être modifiées par l'ajout de plastifiants ou de butadiène (caoutchouc) pour en faire un polystyrène dit choc. L'application la plus connue du grand public est le polystyrène expansé (PSE), mousse blanche compacte obtenue par mélange d'un gaz (butane ou pentane) et de polystyrène cristal (**voir aussi le Chapitre de J.-C. Bernier**).

Le polystyrène est synthétisé par polymérisation du styrène, monomère issu du pétrole (**Figure 4**).

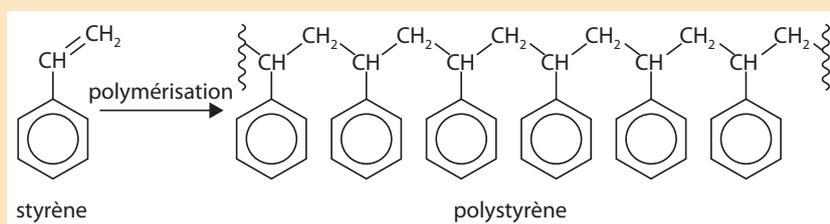


Figure 4

Synthèse du polystyrène par polymérisation du styrène.

Le polyuréthane

Décliné en une grande variété de textures selon le monomère utilisé, ou en ajoutant d'autres substances (additifs), les polyuréthanes sont utilisés pour de nombreuses applications, principalement sous forme de mousses, en particulier pour l'isolation des bâtiments ou l'ameublement (assises des sièges). Sous la forme de mousse expansée, ils sont appréciés pour leur qualité d'isolation phonique et thermique, leur adhérence sur tout support, leur pouvoir de flottaison, leur capacité à remplir les vides quels qu'ils soient et à permettre des emballages sur mesure, légers et solides. Ils sont aussi largement utilisés dans la décoration (peinture, colles... **voir le Chapitre de D. Gronier**), ou encore dans les textiles*. Citons leur utilisation dans des combinaisons de natation apparues en 2008, améliorant considérablement les performances des athlètes qui les ont utilisées, avant d'être interdites par la Fédération internationale de natation (FINA) en 2010*.

Les polyuréthanes sont des polymères d'uréthane, molécule issue de la réaction entre un isocyanate et un alcool (**Figure 5**). La synthèse chimique du polymère à partir d'isocyanate peut s'effectuer de différentes manières : par polymérisation « en chaîne », par polycondensation (**voir le Chapitre de D. Gronier, Figure 16 et note 8**) ou par « polyaddition ».

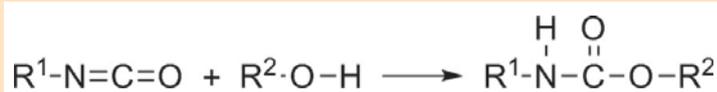


Figure 5

Synthèse d'uréthane à partir d'un isocyanate et d'un alcool.

Comme la plupart des matières plastiques, les polyuréthanes présentent une toxicité très faible par rapport à de nombreux autres matériaux utilisés pour l'isolation ou pour le rembourrage des meubles. Cependant, ils sont très inflammables et leur combustion produit de nombreux gaz mortels tels que le cyanure d'hydrogène et le monoxyde de carbone. Un additif retardateur de flammes, la pentabromodiphényléther, a été incorporé à ces mousses, mais, réputé toxique, il est interdit depuis 2001.

* Voir l'ouvrage *La chimie et le sport*. Coordonné par Minh-Thu Dinh-Audouin, Rose Agnès Jacquesy, Danièle Olivier et Paul Rigny, EDP Sciences, 2011.

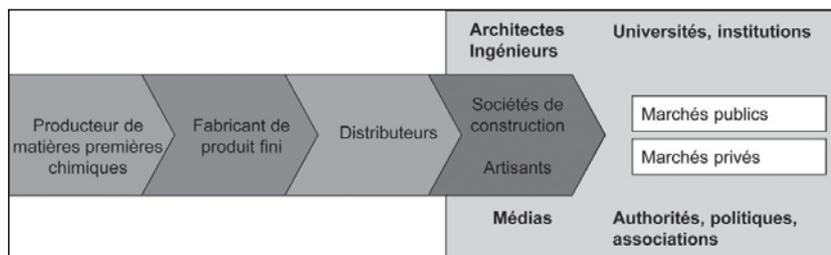


Figure 6

La chaîne de valeurs de la construction. Situées très en amont de cette chaîne, les industries de la chimie sont néanmoins à l'écoute des besoins des clients, condition nécessaire à l'innovation.



Figure 7

Neopor® : utilisées sous forme de panneaux, ces billes expansibles en alliage de polystyrène et de graphite offrent des performances d'isolation meilleures que le polystyrène pur.

Figure 8

Inauguré au début de l'année 2010, La Clairière est le premier bâtiment social passif français. Après un été et un hiver, ses habitants se disent totalement satisfaits.

expansible. Elles sont expansées par ses clients (dits transformateurs) sous forme de panneaux, qui sont ensuite recouverts d'un enduit et équipés d'armatures par les industriels appelés « systémistes », lesquels vont les vendre à l'acheteur final (société de construction, artisan ou particulier).

Bien que l'industriel de la chimie soit situé très loin de l'acheteur final dans la chaîne, il doit néanmoins répondre au cahier des charges du client et donc aller chercher l'information au niveau de ce marché final. Cette condition est à l'origine de toute innovation : les retours d'expérience de l'usage de ces matériaux sur le terrain, dans des projets

concrets de construction, sont très importants pour les équipes de recherche des industriels de la chimie.

3 La route vers les bâtiments « passifs »

3.1. Le premier exemple français

La Clairière (Figure 8), premier bâtiment social passif français construit en conformité avec le label Passivhaus (Encart : « Les labels énergie »), a été inaugurée en mars 2010 à Bétheny près de Reims, soit deux ans avant l'entrée en vigueur des recommandations du Grenelle de l'environnement sur les performances énergétiques des bâtiments (voir le Chapitre de J.-M. Michel). À l'origine de cette initiative, le « Foyer Rémois », un bailleur social bien implanté dans la région Champagne-Ardenne et ses partenaires dont BASF. Ce bâtiment passif consomme moins de 15 kWh/m²/an pour



LES LABELS ÉNERGIE

Le label Effinergie

Le label bâtiment basse consommation-Effinergie (BBC-Effinergie) a été mis en place en France en 2007 par le collectif Effinergie avec des organismes certificateurs pour encourager la mise en place de mesures d'économie d'énergie lors de la construction des bâtiments. Actuellement, une maison conforme à la réglementation thermique 2005 consomme en moyenne entre 91 et 150 kWh/m²/an. L'objectif de ce label est d'abaisser la consommation à moins de 50 kWh/m²/an (variable en fonction des régions et de l'altitude). Il prend en compte la consommation d'énergie primaire pour le chauffage, le refroidissement, la ventilation, les auxiliaires, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage des locaux. Le label (correspondant au niveau A sur l'étiquette énergie, **Figure 9**) est attribué aux maisons individuelles qui répondent aux exigences du label bâtiment basse consommation (BBC, voir les **Chapitres de J.-C. Bernier** et de **D. Quénard**) avec, en plus, l'obligation de réaliser une mesure d'imperméabilité à l'air.

Par la suite, le collectif Effinergie a décidé d'étendre ce label aux bâtiments existants en lançant en 2009 le label BBC-Effinergie rénovation. Ce sont ainsi plus de 31 millions de logements français et plusieurs centaines de millions de mètres carré de bâtiments tertiaires qui seront concernés, et qui devront respecter plusieurs conditions telles qu'une consommation maximale en énergie primaire de 80 kWh/m²/an.



Figure 9

L'objectif des labels est d'atteindre des performances énergétiques de niveau A.

www.effinergie.org/site/Effinergie/

Le label Passivhaus

Passivhaus est un label d'origine allemande de performance énergétique dans les bâtiments, accordé aux logements neufs dont les besoins en chauffage sont inférieurs à 15 kWh/m²/an. La consommation totale, calculée en énergie primaire, prenant en compte le chauffage, la ventilation, l'éclairage, l'eau chaude sanitaire, les auxiliaires et les équipements électro-domestiques doit être inférieure à 120 kWh/m²/an. Il met notamment l'accent sur l'étanchéité à l'air du bâtiment.

www.lamaisonpassive.fr

son chauffage, ce qui représente une performance énergétique supérieure de 70 % aux objectifs imposés par le règlement thermique 2005 (voir le **Chapitre de D. Quénard, Encart : « La réglementation thermique (RT) »**) et une anticipation sur les exigences de la nouvelle norme RT 2012 et du label bâtiment basse consommation Effinergie qu'elle préconise (voir l'**Encart : « Les labels énergie »**). Ce n'est en effet qu'en 2012, conformément au Grenelle de l'environnement et à la nouvelle réglementation thermique, que tous les bâtiments neufs devront se rapprocher des performances énergétiques de ce bâtiment pilote.

Pour Christophe Villers, président du Foyer Rémois, innovations et partenariats sont les maîtres mots de ce projet. Innovation, car il faut trouver des solutions de plus en plus efficaces pour les nouveaux modes d'habitats ; partenariats, pour arriver à ces réponses et à cette qualité d'innovation. Des alliances professionnelles sont donc à rechercher, ce qui a déjà été le cas avec EDF, BASF et le bureau d'étude Synapse. De cette alliance est ainsi né le premier immeuble passif social en France, qu'est La Clairière. Il faut lancer à la fois des recherches technologiques innovantes sur la basse consommation et en même temps offrir à l'intérieur des logements vastes, éclairés, de bonne qualité et attractifs. L'immeuble passif La Clairière est une réponse concrète à la question de savoir comment on peut habiter aujourd'hui, en préfiguration à ce que demande le Grenelle de l'envi-

ronnement à l'horizon 2020. Pour obtenir un logement labellisé passif, il est nécessaire de réduire au maximum les déperditions de chaleur. Pour cela, il faut répondre aux exigences définies dans le paragraphe 1.2 : obtenir une isolation de qualité en supprimant les ponts thermiques, une étanchéité à l'air élevée et une ventilation contrôlée avec récupération de chaleur. L'amélioration du niveau de performances énergétiques doit toutefois être précédée d'une réflexion globale prenant également en compte l'impact environnemental des matériaux et systèmes utilisés pendant l'ensemble du cycle de vie du bâtiment. L'élément primordial pour qu'un bâtiment soit passif est la compacité du bâtiment, et c'est ce qui permet d'avoir un meilleur rapport entre la surface du bâtiment et les façades.

3.2. Les solutions énergétiques utilisées

Bâtiment pilote en France, La Clairière bénéficie de solutions énergétiques innovantes. Le toit est équipé de panneaux solaires pour le chauffage de l'eau chaude sanitaire. Il est également recouvert d'une toiture végétalisée qui retient l'eau de pluie et forme ainsi une barrière naturelle contre l'humidité et le froid. Le système de ventilation double-flux avec récupération de chaleur est complété par un puits canadien (**Encart : « Le puits canadien, un climatiseur naturel »**) à l'extérieur, ce qui permet d'avoir une faible amplitude thermique en été comme en hiver.

LE Puits CANADIEN, UN CLIMATISEUR NATUREL

Le puits canadien est un système géothermique qui sert de climatisation naturelle. Il est basé sur le simple constat que la température du sol à 1,60 m de profondeur est plus élevée que la température ambiante en hiver, et plus basse en été. Son principe consiste à faire circuler l'air entre l'extérieur et l'intérieur de la maison, dans un tuyau enterré à environ deux mètres de profondeur (*Figure 10*). Dans ce tuyau, où le flux est maintenu grâce à un ventilateur, s'effectuent les échanges thermiques entre l'air et le sol, ce qui permet de réchauffer cet air en hiver avant qu'il n'entre dans la maison et, à l'inverse, de le rafraîchir en été. Dans le même temps, l'air intérieur est renouvelé. Encore peu utilisé, son installation serait pourtant peu chère s'il était prévu lors de la construction des bâtiments.

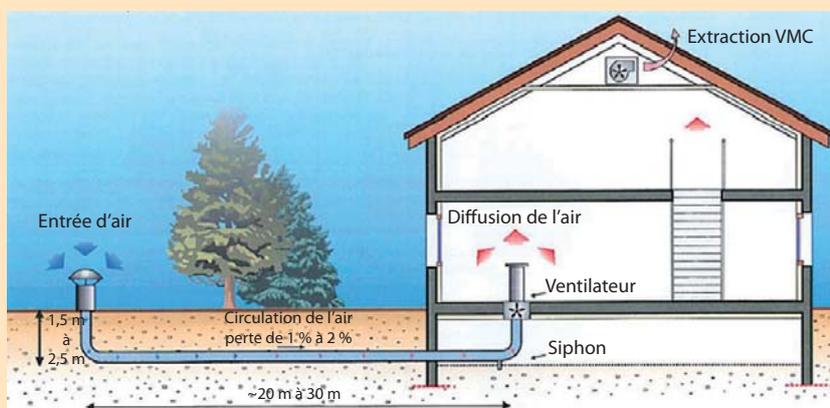


Figure 10

Le puits canadien permet de réguler la température de la maison par le sol.

Enfin, toujours dans l'idée de gagner en confort, les principes de l'architecture bioclimatique sont respectés dans la Clairière : la façade principale avec de grandes ouvertures a été orientée plein sud pour bénéficier des apports solaires naturels alors que les autres façades comptent de plus petites ouvertures. De plus, toutes les fenêtres sont équipées de doubles ou de triples vitrages en fonction des orientations (à propos des vitrages, voir le *Chapitre de J. Ruchmann*). La somme de toutes ces solutions énergétiques apporte un confort supplémentaire mais ne serait pas efficace sans une isolation complète du bâtiment. C'est bien le Neopor®, ce nouveau matériau isolant, qui permet

à La Clairière d'atteindre ses performances énergétiques grâce à son excellente isolation thermique. Outre sa couleur grise, l'ajout de graphite dans ce polymère expansible donne à ce matériau la capacité d'absorber et de réfléchir les rayonnements infrarouges. Cela lui confère non seulement un pouvoir isolant supérieur mais permet aussi l'utilisation de plaques plus minces de 20 % par rapport à un isolant en polystyrène classique. Pour plus d'efficacité, le bâtiment est isolé par l'extérieur. Des plaques de Neopor® de trente centimètres d'épaisseur ont été posées sur les murs et permettent de supprimer les ponts thermiques et d'obtenir une isolation optimale.

2020 tous passifs : c'est possible

L'exemple de La Clairière montre qu'il est possible, pour des coûts modérés, de construire des bâtiments « passifs » sur le plan énergétique, en respectant à la fois esthétique et confort. La problématique de réhabilitation énergétique des bâtiments anciens, dont les façades sont à préserver du point de vue architectural, est beaucoup plus complexe à résoudre : il faut prévoir une isolation renforcée par l'intérieur, mais avec des problèmes de perte de surface habitable, de création de ponts thermiques, etc.

Cependant, la réhabilitation énergétique des bâtiments construits dans les années 1970, plus facile à réaliser, constituerait déjà un grand progrès sur le plan des économies d'énergie et rendrait beaucoup plus intéressant et surtout plus rentable leur équipement ultérieur en photovoltaïque.

Dans tous les cas, résoudre au mieux les problèmes d'isolation est le moyen le plus efficace et le plus rentable pour diminuer la consommation énergétique dans l'habitat. Les industriels de la chimie y jouent et auront à y jouer un grand rôle dans la mise au point de produits efficaces et répondant aux besoins sur le terrain.

Crédits photographiques

Fig. 1, 2, 3, 7 et 8 : BASF.