

Brigitte Vu

Le guide de



l'habitat passif

EYROLLES

l'habitat passif

Construire une maison à très basse consommation reste un enjeu prioritaire pour les propriétaires : préservation de l'environnement et surtout économies d'énergie sont au premier plan des préoccupations... Conception bioclimatique, choix des matériaux et énergies renouvelables sont alors de mise pour créer un habitat intégré à son environnement, parfaitement économique et répondant aux normes et à la RT2010...

Cet ouvrage vous explique les fondements d'un bâtiment à basse consommation. À travers des exemples concrets, des conseils avisés et des fourchettes de prix réels, il vous livrera toutes les clés pour mener à bien votre futur projet de maison à énergie zéro.



Les guides de l'habitat durable

Le guide de

l'habitat passif

DANS LA MÊME COLLECTION

- Philippe Guillet. – *Le guide des piscines naturelles et écologiques*, G12348, 2008.
Michel Tissot. – *Le guide de l'énergie solaire et photovoltaïque*, G12332, 2008.
Brigitte Vu. – *Le guide de l'eau domestique*, G12372, 2008.

DANS LA COLLECTION « EYROLLES ENVIRONNEMENT »

- Brigitte Vu. – *Récupérer les eaux de pluie*, G11984, 2006.
Bruno Béranger. – *Les pompes à chaleur, 2^e édition*, G12266, 2006.
Brigitte Vu. – *L'habitat écologique et les aides de l'État*, G12054, 2006.
Brigitte Vu. – *La maison à énergie zéro*, G12089, 2007.
Paul de Haut. – *25 moyens d'économiser son argent et notre environnement*, G12053, 2007.
Brigitte Vu. – *Choisir une énergie renouvelable adaptée à sa maison*, G12142, 2007.
Paul de Haut. – *Chauffage, isolation et ventilation écologiques*, G12105, 2007.
Emmanuel Riolet. – *Le mini-éolien*, G12143, 2007.
Brigitte Vu. – *5 diagnostics immobiliers obligatoires*, G12181, 2007.
Pascal Farcy. – *Le compost*, G12220, 2007.
Emmanuel Riolet. – *L'énergie solaire et photovoltaïque pour le particulier*, G12221, 2008.
Brigitte Vu. – *L'isolation écologique*, G12265, 2007.
Bruno Herzog. – *Le puits canadien*, G12141, 2008.
Eric et Tina Masson. – *Jardiner écologique, sans pesticide*, G12254, 2008.
Bertrand Gonthiez. – *Utiliser l'eau de pluie*, G12275, 2008.
Brigitte Vu. – *Rénovation et Grenelle de l'environnement*, G12318, 2008.
Léon-Hugo Bonte. – *Réaliser et entretenir son mur végétal*, G12342, 2008.
Paul de Haut. – *Construire une maison non toxique*, G12253, 2008.

Brigitte **Vu**

Le guide de

l'habitat passif

ÉDITIONS EYROLLES
61, bld Saint-Germain
75240 Paris Cedex 05
www.editions-eyrolles.com

© de couverture : Clipsol.
© quatrième de couverture : Wienerberger.

Le code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée notamment dans les établissements d'enseignement, provoquant une baisse brutale des achats de livres, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage, sur quelque support que ce soit, sans l'autorisation de l'Éditeur ou du Centre Français d'exploitation du droit de copie, 20, rue des Grands Augustins, 75006 Paris.

Sommaire

Partie 1 – Généralités.....	7
1 > État des lieux.....	8
l'engagement français	9
Qu'en est-il de l'engagement d'autres pays ?	11
2 > La Haute qualité environnementale	14
Évolution de l'approche constructive.....	15
Situation en France	17
3 > Les nouveaux labels haute performance énergétique et basse consommation d'énergie	24
Le label BBC	27
Le label Effinergie	29
Partie 2 – Technique bioclimatique et choix des matériaux	31
4 > Diminuer ses besoins en chauffage et climatisation avec la bioclimatique	32
Le choix des matériaux	45
5 > Le gros œuvre	51
Le bloc béton.....	51
La brique Monomur.....	52
Le béton cellulaire.....	59
La structure bois.....	62
Le Blokisol (Eurofab)	65
En conclusion.....	67
6 > L'isolation	69
Le coefficient et la résistance de conductivité thermique.....	69
L'enveloppe	70
Choisir son isolant	71
Isolation du sous-sol, du sol et du toit	74
Isolation de toiture	76
Isolation des vitrages	82
Isolation des huisseries.....	85
Partie 3 – Objectif : énergie zéro.....	91
7 > Le chauffage	92
le bois-énergie	92
le chauffage solaire.....	99
La géothermie et l'aérothermie	102
8 > l'eau chaude sanitaire.....	108
L'eau chaude sanitaire et les pompes à chaleur	108
Le solaire thermique	110
9 > L'électricité.....	118
le photovoltaïque	118
l'éolien	123
Partie 4 – Les autres postes à économie d'énergie.....	127
10 > L'éclairage	128
11 > L'eau	132
Mise en place d'économiseurs d'eau	133
Installation d'un système de récupération d'eau de pluie extérieur.....	135
Partie 5 – Annexes	139
> Législation et crédit d'impôts.....	140
Définitions	140
Caractéristiques thermiques de référence	141
Caractéristiques thermiques minimales en matière d'isolation.....	143
le crédit d'impôts : quel taux pour quoi ?	143
les conditions d'obtention du crédit d'impôts.....	146
> Les bonnes adresses	154
les institutions et associations	154
les matériaux	155
Les autres bonnes adresses.....	155
> Index.....	156



Partie I

Généralités

1 > État des lieux

1. Le baril est à plus de 150 \$ début juillet 2008.

Les catastrophes climatiques répétées à l'échelon mondial, européen et national, l'augmentation du prix du pétrole¹ font de plus en plus prendre conscience aux citoyens mais aussi aux décideurs de l'impérieuse nécessité d'œuvrer en faveur du développement durable.

La première prise de conscience a eu lieu lorsque les scientifiques se sont aperçus qu'il y avait un trou dans la couche d'ozone. Celle-ci a cessé de se dégrader et l'on prévoit sa reconstitution à l'horizon 2050.

Cependant, les émissions de gaz à effet de serre ne cessent de croître du fait de l'augmentation du nombre d'utilisateurs d'énergie d'origine fossile. Nous estimons que le nombre d'êtres humains sur la planète est de 6 milliards et qu'il sera de 9,5 milliards en 2050. De plus en plus de pays, dans le cadre de leur développement, vont avoir accès aux énergies, les principaux demandeurs aujourd'hui étant la Chine puis l'Inde. La Chine dispose d'importantes réserves en charbon, elle va donc les utiliser ; on estime que la Chine met en route une centrale fonctionnant au charbon toutes les semaines ! Il est donc important de travailler très en amont, pour aider ces pays à trouver des modèles de croissance dont le coût écologique est moindre.

L'augmentation des températures ne sera pas uniforme sur la planète. Il semblerait que les terres se réchaufferont plus que les océans. Le réchauffement des zones tropicales induira une extension des déserts. Les zones des pôles connaîtront un réchauffement très important.

Les conséquences de ce réchauffement seront multiples. Notamment, une atmosphère plus chaude induira une plus grande quantité d'évaporation d'eau de la part des océans avec une modification du régime des précipitations. Celles-ci devraient augmenter dans les latitudes élevées et autour de la ceinture équatoriale et a contrario, du fait de la remontée des alizés, la zone tropicale (région méditerranéenne, Afrique du Nord, Sahel, Moyen-Orient, sud de l'Amérique latine et Australie) devrait devenir plus sèche et plus aride.

D'autre part, une augmentation de l'énergie dans l'atmosphère devrait se traduire par des phénomènes plus turbulents relativement similaires à ceux que l'on constate aujourd'hui, mais avec des amplitudes encore plus importantes (tempêtes, tornades, ouragans).

L'accroissement de la température devrait également conduire à une hausse du niveau des mers de l'ordre de 10 à 80 cm dans le siècle, induisant la disparition de certaines îles ainsi que de deltas, avec des conséquences non négligeables puisque 250 millions de personnes vivent entre 0 et 1 m.

On note depuis deux ans maintenant une fonte des glaces du pôle Nord permettant la navigation en été ; cette fonte induit une remontée des océans et une modification des courants tels que le Gulf Stream.

De fait, l'anticyclone des Açores se positionnera différemment et nous devrions connaître soit des épisodes caniculaires comme en 2003, soit un été tel que celui de 2007 donc relativement pluvieux au nord et très sec au sud.

2. Le Protocole de Kyoto a pour objectif de faire réduire les émissions de gaz à effet de serre des différents pays (172 au total) qui l'ont ratifié. Il est entré en vigueur le 16 février 2005, pour être officiellement appuyé par la Conférence des Nations unies sur les changements climatiques se déroulant à Montréal du 28 novembre au 9 décembre 2005.

L'engagement français

En signant les accords de Kyoto², la France s'est engagée à diviser par quatre ses émissions de gaz à effet de serre³ d'ici 2050 et à revenir au taux de 1990 en 2010.

En 2005 le bâtiment produit en France 23 % du CO₂ émis. Il représente 45 % de la consommation d'énergie primaire, l'industrie et l'agriculture 29 %, les transports 26 %. L'énergie finale consommée se répartit ainsi : environ 56 % dans les logements possédés par des particuliers (maisons individuelles et appartements en copropriété), 10 % dans des logements propriétés d'institutionnels (organismes d'HLM, sociétés d'économie mixte, sociétés privées), 17 % dans du tertiaire privé, 17 % dans du tertiaire public. Celui-ci a le triste privilège d'être le premier émetteur de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. L'efficacité énergétique des bâtiments a certes progressé ces dernières années, mais il reste beaucoup à faire si nous voulons atteindre l'objectif fixé par les accords de Kyoto.

En Europe, près de 80 % de la population vit dans des zones urbaines !

3. À savoir le dioxyde de carbone (CO₂) ; le méthane (CH₄) ; l'oxyde nitreux (N₂O) ; l'hexafluorure de soufre (SF₆) ; les hydrofluorocarbures (HFC) ; les hydrocarbures perfluorés ou perfluorocarbures (PFC).

La France a été un pays précurseur à bien des égards en matière de développement durable. Et en effet, on parle d'une qualité environnementale « à la française ». Ce fut le cas avec l'association HQE®, présidée par Dominique Bidou à l'époque. Celle-ci est apparue en 1996 et a découlé du programme Écologie et Habitat initié par le Plan Construction et Architecture. Elle s'est développée notamment grâce aux travaux de l'Ateque (Atelier d'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments) et fut pionnière dans ce domaine ; elle a entre autres initié la démarche HQE®, dont beaucoup se réclament aujourd'hui, démarche basée sur le principe du volontariat.

L'objectif est de présenter des procédés visant à améliorer la qualité environnementale des bâtiments neufs ou existants, destinés aussi bien aux particuliers qu'aux collectivités territoriales ou encore à l'État.

La démarche HQE® a sans doute contribué à initier notre vision de la construction environnementale d'aujourd'hui.

1. Le Grenelle de l'environnement est un événement politique qui a eu lieu en octobre 2007 pour organiser différentes rencontres et réunions pour prendre des décisions concrètes à plus ou moins long terme en matière d'environnement et de développement durable. Pour plus d'informations, vous pouvez vous rendre sur le site : www.legrenelle-environnement.fr.

L'inconvénient pour la France est que les critères en matière d'émissions de gaz à effet de serre n'ont pas été assez contraignants pour notre pays. En effet, concernant ces émissions, nous devons être en 2010 au même niveau qu'en 1990. Dans le même temps, les Allemands ont dû baisser leurs émissions de 21 % et ils atteindront cet objectif grâce à une politique volontariste ; quand aux Britanniques, ils devront diminuer leurs émissions de 12 %, et ils atteindront probablement même les -15 %.

La France n'a pas eu de contraintes majeures à ce niveau dans la mesure où, suite au premier choc pétrolier, elle avait fait le choix de la production d'électricité grâce au nucléaire. Or cette production n'émet pas de gaz à effet de serre, ce qui explique les faibles contraintes par rapport à l'Allemagne par exemple, dont la production électrique est essentiellement issue du charbon, grand pourvoyeur de gaz à effet de serre.

Cependant, c'était sans compter avec des hommes comme Nicolas Hulot et bien d'autres, qui ont eu le courage, dans le cadre de la campagne pour les élections présidentielles de 2007, de mettre au cœur du débat les problématiques environnementales.

Le Grenelle de l'environnement a résulté de ce débat et a en quelque sorte révolutionné l'approche environnementale. Il y a l'avant et l'après Grenelle, même s'il reste beaucoup à faire¹.

Le secteur du bâtiment représente 26,5 % de nos émissions de gaz à effet de serre. La France compte environ 30,2 millions de logements, 19,1 millions ont été construits avant 1975, ce qui représente 63 %

du parc existant. Les logements construits avant 1975 sont relativement peu – voire pas du tout – isolés, ce qui signifie que ceux-ci ont de fortes déperditions thermiques et de fait consomment beaucoup plus d'énergie. De plus, ils sont chauffés grâce à des énergies fossiles, donc fortement pourvoyeurs de gaz à effet de serre, responsables en partie des changements climatiques.

Nous devons prendre conscience que les petits gestes, les petites économies que nous faisons chaque jour, sont multipliés par des millions à l'échelle de la France, de l'Europe, voire plus, au niveau planétaire, et nous permettront de préserver au maximum nos ressources naturelles. C'est ainsi que nous intégrerons sans forcément nous en rendre compte la définition du développement durable.

Qu'en est-il de l'engagement d'autres pays ?

Allemagne

Certains autres pays comme l'Allemagne avaient des critères plus drastiques que la France en matière d'émission de gaz à effet de serre, comme nous l'avons déjà souligné. Ces contraintes les ont conduits à initier plus rapidement que nous des constructions basses consommations.

C'est ainsi qu'est née la démarche Passiv hauss, à l'initiative du Pr Feist et de l'institut Passiv Hauss, qui a conduit à la réalisation de plus de

Qu'est-ce qu'une maison passive au sens de Passiv Hauss ?

Des besoins en chauffage inférieurs à 15 kW/m²/an.

Une très faible perméabilité à l'air.

Une consommation totale et tous usages confondus en énergie primaire ne devant pas excéder 120 kW/m²/an.

7 000 bâtiments en Allemagne, Autriche et dans une moindre mesure dans d'autres pays.

Passiv haus est un projet qui concerne les constructions neuves. Les Allemands ont aussi développé un programme pour la rénovation, il s'agit du programme Niedrigenergiehaus im Bestand. Celui-ci consiste à rénover des bâtiments de manière à ce que leur consommation soit inférieure de 50 % aux limites réglementaires en vigueur pour le neuf.

L'Allemagne a accompagné cette politique par un système de financement des surinvestissements liés à ces choix et a mis en place des prêts aidés portés par l'ensemble des établissements bancaires.

L'Allemagne a fortement impliqué les acteurs scientifiques dans le développement de ses programmes, avec une coopération importante d'acteurs très différents tels que des architectes, ingénieurs, producteurs d'équipements, fournisseurs de matériaux, collectivités locales, entreprises de construction, sociétés de crédit immobilier, chercheurs.

La réussite des projets allemands vient aussi du fait que ceux-ci ont une approche technique visant à associer à ces programmes d'opérations des programmes de recherche dont la finalité est de faire émerger des solutions performantes et de les valider par des mesures de terrain.

L'évolution de la réglementation thermique allemande est également menée en liaison avec les programmes de construction de bâtiments basses consommations.

Les labels Minergie®

Des labels plus exigeants tels que Minergie P® ont vu le jour en construction neuve. La consommation maximale totale en énergie primaire est limitée à 30 kWh/m²/an. Un label écologique Minergie-Eco® vient d'être lancé.

Suisse

Le programme de construction de bâtiments basses consommations est conduit par l'association Minergie¹.

Il existe plusieurs niveaux de labellisation Minergie®. Les constructions neuves ne doivent pas excéder une consommation totale d'énergie primaire de 42 kWh/m²/an pour le neuf. Il existe aussi un programme Minergie pour la rénovation, avec une consommation maximum portée à 80 kWh/m²/an.

Élément très important dans ce type de construction, le surinvestissement lié à ces constructions ne doit pas être supérieur à 10 % par rapport à une construction classique. Il est en moyenne de 5 %.

D'autre part, le label Minergie® est reconnu sur le marché, conférant aux maisons Minergie® une valeur supérieure lors de la revente.

1. www.minergie.fr

Espagne

L'Espagne a créé l'ordonnance solaire qui rend obligatoire l'installation de panneaux solaires thermiques pour toute construction neuve ainsi que pour toute réhabilitation.

Les choses se mettent très progressivement en place ; l'ordonnance solaire, en plus du solaire thermique, touche maintenant le solaire photovoltaïque.

L'objectif de ces programmes est de diminuer fortement la consommation d'énergie fossile pour l'habitat et les bâtiments en général. Le but est aussi de diminuer les consommations énergétiques en général grâce à l'utilisation de matériaux à forte inertie thermique, à une orientation plus judicieuse des bâtiments, à une meilleure qualité d'isolation en termes d'huisserie mais aussi d'isolation des sols et des toitures.

La réussite de ces projets est aussi basée sur un partenariat fort avec les organismes financiers, visant à permettre le financement du surinvestissement.

2> La Haute qualité environnementale

Le but de la démarche HQE® est de construire ou de rénover en utilisant des matériaux et des technologies modernes respectueux de l'environnement, de la conception du produit à sa démolition.

Les entrepreneurs s'engagent à proposer des matériaux respectueux de l'environnement tant dans leur fabrication que dans la pose ou l'installation, ainsi que dans le recyclage après utilisation.

Ces quatorze cibles ont été définies par l'association HQE® et sont classées selon deux groupes et quatre familles.

Groupe I : maîtrise des impacts sur l'environnement extérieur

Première famille : éco-construction

- Cible 1 : relation harmonieuse des bâtiments avec leur environnement immédiat ;
- Cible 2 : choix intégré des procédés et produits de construction ;
- Cible 3 : chantier à faibles nuisances ;

Deuxième famille : éco-gestion

- Cible 4 : gestion de l'énergie ;
- Cible 5 : gestion de l'eau ;
- Cible 6 : gestion des déchets d'activité ;
- Cible 7 : gestion de l'entretien et de la maintenance.

Groupe II : création d'un environnement intérieur satisfaisant

Troisième famille : confort

- Cible 8 : confort hygrothermique ;
- Cible 9 : confort acoustique ;
- Cible 10 : confort visuel ;
- Cible 11 : confort olfactif ;

Quatrième famille : santé

- Cible 12 : conditions sanitaires des espaces ;
- Cible 13 : qualité de l'air ;
- Cible 14 : qualité de l'eau.

Le choix de l'adoption de la démarche HQE® est une contribution au développement durable, visant à maîtriser les conséquences d'une opération de construction ou de rénovation sur l'environnement extérieur, tout en créant un milieu intérieur sain et confortable. Quel que soit votre choix, le geste que vous ferez sera toujours un plus en faveur de la préservation de l'environnement.

Il faut savoir qu'il n'existe pas encore de produits estampillés HQE® et qu'il n'en existera sans doute jamais dans la mesure où la pose joue un grand rôle dans la haute qualité environnementale.

Le but de ce guide est d'essayer de répondre de manière pratique à toutes les questions que vous pouvez vous poser sur la haute qualité environnementale dans le cadre de constructions d'habitations neuves ou de rénovations.

À retenir

Construire ou rénover HQE® nécessite de respecter un certain nombre d'exigences, et de créer une dynamique d'actions à laquelle participent l'ensemble des responsables de la construction y compris les propriétaires et ce bien en amont de la construction.

Évolution de l'approche constructive

Le Grenelle de l'environnement a fait prendre conscience à l'ensemble des acteurs du bâtiment de l'impérieuse nécessité de construire autrement.

Des initiatives voient le jour dans certaines régions, mais il est urgent de les généraliser tant dans le domaine de la construction neuve que de la rénovation.

Certains pays européens ont déjà franchi le pas. C'est le cas de l'Allemagne, la Suisse, l'Autriche, les pays nordiques et d'autres encore, dans une moindre mesure.

Il est maintenant nécessaire d'avoir une approche globale du bâtiment visant à permettre l'intégration des évolutions techniques dans tous les domaines touchant à la construction, de la conception à la réalisation sans oublier la maintenance.

Cette approche globale permet une homogénéisation de la construction avec une optimisation de l'enveloppe (structure de la construction, huisserie, isolation, etc.). Elle implique également une gestion efficace des énergies : mise en place de la VMC avec préférence pour la VMC double flux avec récupération de chaleur, intégration d'une voire plusieurs énergies renouvelables pour le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire, le rafraîchissement et/ou la climatisation, possibilité de micro-cogénération ou micro-réseaux de chaleur pour les petits collectifs, production d'électricité (éolien, photovoltaïque, etc.), travail sur un éclairage naturel et un éclairage plus performant (gestion entre autres).

Nous devons aussi tirer des enseignements des expériences à l'étranger et à ce titre nous pouvons mettre en avant trois modèles de conception (ils ne sont pas les seuls mais ce sont sans doute les mieux adaptés à la France).

Tout d'abord, celui qui semble avoir les faveurs actuellement : le modèle « basse consommation d'énergie ». Il s'agit d'isoler au mieux les bâtiments de manière à consommer le moins d'énergie possible par la suite, à l'image de ce qui se fait en Suisse avec Minergie ou en Allemagne avec Passiv hauss.

Le modèle « économie et production d'électricité » dont l'objectif n'est pas de réduire de manière drastique la consommation d'énergie mais de produire de l'électricité grâce au photovoltaïque et d'isoler davantage les bâtiments sans surisolation.

La conception « énergie et environnement », à l'image de la démarche HQE®, avec une cible obligatoire, celle de l'énergie, associée à d'autres cibles environnementales telles que l'intégration du bâtiment dans le site (cible 1), l'utilisation de matériaux performants (cible 2), une meilleure gestion de l'eau (cible 5), des déchets (cible 6), l'amélioration de toutes les formes de confort (cibles 8 à 11), etc.

Toutes ces expériences nous ont permis de tirer des enseignements positifs pour mettre en place une meilleure efficacité énergétique des bâtiments dans le neuf comme dans l'ancien.

La France souffre d'un manque de lisibilité de sa politique dans ce domaine. Beaucoup de choses sont expérimentées, et ont déjà été proposées, comme la mise en place d'une réglementation thermique, mais

il faut donner un cadre, des labels, et surtout augmenter les contrôles, former les professionnels aux nouvelles technologies et les encourager à suivre une formation continue. Il faut également accompagner les futurs propriétaires faisant le choix de construire des maisons BBC (basse consommation énergétique). On notera qu'il n'existe pas à l'heure actuelle de contrôles en fin de construction ou de rénovation lourde.

Le principal moteur pour la construction et la rénovation des bâtiments afin qu'ils deviennent à haute efficacité énergétique est politique.

Au regard de la situation en France, des expériences à l'étranger et de la nécessité de résultats, nous verrons comment doit être menée l'action politique et à quel niveau.

Situation en France

Situation actuelle

Le bâtiment produit 23 % des émissions de gaz à effet de serre en France. Le CO₂ représente 74 % des gaz à effet de serre et 46 % des consommations en énergie primaire.

La consommation moyenne d'énergie pour un logement était en 2003 de 245 kWh/m²/an, ce qui est très loin des 50 kWh/m²/an souhaités par les acteurs du Grenelle pour le neuf et des 80 kWh/m²/an pour l'ancien.

On notera tout de même que la consommation par mètre carré a baissé de 30 %, mais la consommation en volume a augmenté de près de 25 %.

Les énergies fossiles constituent la majorité de cette consommation surtout dans l'existant qui représente plus de la moitié des consommations en énergie fossile et est la propriété des particuliers.

L'effort devra donc porter sur ce secteur ainsi que sur le neuf, où la possibilité de construire avec des matériaux performants est importante, de même que celle d'intégrer des énergies renouvelables.

La France s'est inscrite dans les perspectives définies par l'Union européenne et s'est engagée à diminuer d'ici 2020 ses émissions de gaz à effet de serre de 20 % par rapport à 1990, à diminuer sa consommation d'énergie primaire de 20 % et à passer à un taux d'énergie d'origine renouvelable de l'ordre de 20 %, toujours d'ici 2020.

Le bâtiment sera le principal acteur de la baisse de la consommation d'énergie en France d'ici 2020, puisque le Grenelle de l'environnement a proposé une diminution de 38 % de la consommation d'énergie dans ce secteur.

Cette prise de conscience est très récente et les efforts à faire importants. On notera cependant que des initiatives en ce sens ont vu le jour avec des associations comme l'association HQE®, œuvrant depuis maintenant plus de dix ans.

La réussite de ce projet ne pourra se faire que si le secteur de la rénovation fait un effort extrêmement important, car à elles seules les nouvelles constructions ne peuvent pas permettre d'y arriver.

Le Grenelle de l'environnement suggère donc une analyse thermique de tous les bâtiments publics existants d'ici 2015 avec un effort particulier d'ici cinq ans pour les bâtiments appartenant à l'Etat, un plan de rénovation de tout le parc de logements sociaux existant avec une priorité pour les 800 000 logements les plus consommateurs d'énergie et, dans le cadre de l'ANRU (Agence nationale pour la rénovation urbaine), une rénovation ambitieuse permettant d'atteindre 80 kWep/m²/an. Enfin, des actions en direction des bâtiments appartenant à des organismes privés ou des particuliers, logements ou tertiaires, avec mise à l'étude d'une obligation de rénovation thermique.

En ce qui concerne le neuf, il s'agit d'une véritable révolution avec la mise en place à partir de 2010 de l'obligation de construire des bâtiments répondant aux normes RT 2005 moins 50 %, soit basses consommations, et ce pour tous les bâtiments publics ou privés tertiaires ; pour tous les autres bâtiments, RT 2005 moins 20 % en 2010, RT 2005 moins 50 % en 2012 et bâtiments énergie zéro ou, mieux, énergie positive en 2020.

Des actions volontaristes devront être menées par les villes avec la construction d'éco-quartiers et la mise en place de plans « climat-énergie » territoriaux d'ici 2012 par les communautés d'agglomérations, les communautés urbaines, les pays ou encore les parcs naturels.

Le Bilan Carbone sera généralisé pour les bâtiments publics ou privés avec une amélioration de 20 à 30 % de l'efficacité énergétique¹.

1. Le Bilan Carbone est une méthode de calcul, mise en place par l'Ademe, visant à traduire les émissions d'une organisation (entreprises, associations, ou autres parcs d'activités). Pour plus d'information, vous pouvez consulter le site www.ademe.fr.

Vers quoi devons-nous nous orienter ?

La réussite en matière d'efficacité énergétique des bâtiments et plus exactement de construction de bâtiments basses consommations puis énergie zéro et enfin énergie positive est essentiellement liée au politique. Les résolutions prises sont tout à fait excellentes et à la portée de notre pays, mais elles doivent être accompagnées de contrôles pour que les constructeurs s'engageant dans cette voie ne soient pas pénalisés.

Une concertation comme celle du Grenelle de l'environnement est absolument sans précédent au niveau international. La France a réussi à rassembler sous l'égide de l'État les pouvoirs publics, les collectivités territoriales, les employeurs, les syndicats et les associations. Le texte et les propositions qui en sont ressortis sont tout à fait applicables et font l'unanimité.

Si nous réussissons à tenir le pari, nous deviendrons une référence à l'échelon international et notre crédibilité dans ce domaine en sera grandie.

Un respect des zones climatiques

On ne peut définir un modèle de maison standard pour toute la France car notre pays connaît grossièrement quatre types de climats : semi-continental, océanique, méditerranéen et montagnard. Nous devons développer des maisons en fonction de nos climats.

Certains mettent en avant les modèles allemand et suisse et leurs labels, respectivement Passivhaus et Minergie. Ceux-ci ne sont pas adaptés du tout au climat méditerranéen, et peu au climat atlantique. Des nouveaux modèles sont donc à développer pour ces deux types de climat.

Il serait intéressant de proposer que la construction soit fonction de la carte de France des zones climatiques².

2. Retrouvez la carte des zones climatiques à la page 26.

Une coordination des intervenants

Les responsables politiques, à tous les échelons du pays, ont pris conscience de l'impérieuse nécessité de diminuer de manière importante nos émissions de gaz à effet de serre, mais aussi de préserver les ressources pour les générations futures.

Les professionnels du bâtiment ont conscience de cette nécessité de construire autrement mais la mise en application s'avère difficile, car elle n'a pas été suffisamment anticipée.

Un bâtiment efficace énergétiquement est avant tout une construction qui a été pensée dans sa globalité et qui intègre dans une même réflexion et très en amont du projet le climat local, l'architecture, l'enveloppe et les équipements.

Ce genre de réflexion exige une nouvelle forme de coopération entre les architectes et les ingénieurs, ce qui est à la base de la réussite de ce type de projet.

L'efficacité énergétique passe aussi par une vision globale du processus de construction ou de rénovation, de la conception à la réalisation sans oublier l'exploitation et la maintenance. Les résultats peuvent ne pas être en adéquation avec ce qui a été convenu à cause d'une mise en œuvre de qualité insuffisante, une exploitation non conforme à ce qui a été décidé ou encore une maintenance insuffisante.

Un certain nombre d'acteurs de la construction (promoteurs, collectivités, directeurs d'office HLM, constructeurs, etc.) mettent en avant le surcoût généré par ces nouveaux modes constructifs. En Suisse par exemple, si le surcoût généré par une construction visant un label Minergie est supérieur à 10 %, celui-ci ne sera pas accordé.

Ce surcoût est souvent généré par un manque d'expérience et de coordination entre les équipes, et parfois même par une rivalité entre ingénieurs et architectes. Or nous avons besoin les uns des autres pour réussir.

Un objectif de construction : la basse consommation énergétique

Il s'agit en fait de repenser le bâtiment plutôt que d'intégrer une dimension énergie et environnement génératrice de coûts supplémentaires.

Le surcoût de départ doit demeurer inférieur à 10 % et est vite compensé par les économies d'énergie, un revenu locatif supérieur et un coût de vente plus important (une maison labellisée Minergie® se vend de 5 à 15 % plus chère qu'une maison classique). D'autres éléments moins quantifiables sont bien sûr observés, tels qu'un meilleur confort, une qualité de l'air supérieure, moins d'allergies, etc.

D'autre part, une dynamique de construction de bâtiments basses consommations voit le jour actuellement en France. Elle est le fruit des travaux du Grenelle de l'environnement et du projet de loi qui en découle. On ressent un fort besoin d'informations tant de la part des particuliers que des institutionnels. Ces informations doivent répondre à un triple objectif :

- démontrer les avantages d'un bâtiment basse consommation (confort, diminution des consommations d'énergie, etc.) ;
- accompagner les professionnels au niveau des choix et de la mise en œuvre des matériels et matériaux ;
- garantir les résultats à la hauteur des espérances des futurs propriétaires.

La labellisation

Les résultats obtenus à l'étranger montrent que la labellisation est efficace. La France s'est limitée à des démarches basées sur le volontariat, qui ont eu le mérite de donner des cadres mais ont montré leurs limites : en effet, un certain nombre d'opérations se veulent HQE® mais le manque de contrôles de la part d'organismes certificateurs limite la crédibilité de ces projets.

La labellisation permet de fédérer l'ensemble des acteurs du bâtiment et donc de s'inscrire dans une dynamique regroupant des professionnels, et incluant l'élaboration de guides techniques, de sites Internet, la mise en place de cycles de formation ainsi que de dispositifs d'incitation fiscaux et financiers. En anticipant les futures réglementations, les labels permettent de tester matériaux, équipements et nouvelles mises en œuvre avant de les généraliser à l'ensemble du bâtiment.

Les labels ne doivent pas se contenter de porter sur la construction mais doivent être étendus aux équipements, à la gestion et à la maintenance.

Objectifs à atteindre

La tendance pour le neuf d'ici 2050 est d'aller vers une consommation en énergie fossile quasi nulle avec une diminution des consommations de près de 70 % et un apport en énergie renouvelable atteignant 30 %.

Toutes ces mesures ne doivent pas se limiter à la construction neuve mais doivent être rapidement étendues à l'existant si nous voulons respecter nos engagements vis-à-vis du protocole de Kyoto. L'orientation en matière de réhabilitation ne doit pas uniquement se faire sur les économies d'énergie ; parce qu'aujourd'hui les besoins sont autres, les attentes en matière de confort des logements sont différentes d'il y a une dizaine d'années.

Le projet de construction d'une maison basse consommation, énergie zéro ou énergie positive, doit faire l'objet de réflexions très en amont.

Vous devez définir les objectifs que vous souhaitez atteindre. Ceux-ci seront fonction de votre budget, du confort auquel vous souhaitez parvenir et de vos diverses aspirations personnelles.

Quelle que soit l'option choisie, vous devez garder en mémoire que votre bâtiment futur est une unité et qu'il faut appréhender le projet dans sa globalité. Il faut que vos choix soient équilibrés tant en termes d'isolation que de choix des matériaux, sans oublier le mode de chauffage ou d'éclairage.

Tous ces choix se feront au regard de critères personnels donc subjectifs mais, quoi qu'il en soit, vous devez vous poser cinq questions importantes :

- Quelles sont les contraintes du lieu de construction (climat, terrain, etc.) ?
- Quels sont les matériaux les mieux adaptés à ces contraintes ?
- Dois-je m'orienter vers une isolation thermiquement performante ou rechercher un confort d'hiver et d'été ?
- En termes d'huisseries, dois-je favoriser le solaire passif d'hiver ou l'isolation d'été ?
- Quel est le système de chauffage, de production d'eau chaude sanitaire, de ventilation voire de rafraîchissement le mieux adapté à mon cas ?

Vous ne devez jamais perdre de vue votre budget global et trouver un équilibre entre ces cinq objectifs prioritaires.

Tableau indicatif des valeurs pour une maison basse consommation
donc consommant moins de 50 kWep/m²/an

Usage	Valeur vers laquelle il faudrait tendre
Besoins en chauffage	15 kWh/m ² /an
Consommation totale en énergie primaire pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire, l'éclairage et les appareils électriques	120 kWh/m ² /an
Consommation électrique totale	Inférieure à 55 kWh/m ² /an
Coefficient U _{bat} de l'enveloppe opaque (murs, toiture, plancher)	U < 0,25 Wm ⁻² K ⁻¹
Coefficient U _w fenêtre et cadre	U _w < 1,3 Wm ⁻² K ⁻¹
Facteur de calcul pour passer de l'énergie finale en énergie primaire	Électricité : 2,98 Gaz naturel : 1,07 Fioul : 1,08
Consommation d'eau chaude sanitaire à 60 °C	25 l/personne/jour

3> Les nouveaux labels haute performance énergétique et basse consommation d'énergie

Le label HPE et ses différents niveaux

Le décret de publication de l'arrêté relatif à la réglementation 2005 est paru en date du 25 mai 2006, fixant une exigence minimale de performance énergétique des bâtiments neufs ; l'arrêté, qui définit les conditions d'attribution du label permettant d'identifier les constructions à performances supérieures, a été publié dans le JO (Journal officiel de la République française) le 8 mai 2007. Il fait référence à cinq niveaux d'exigence : HPE 2005, HPE EnR 2005, THPE 2005, THPE EnR 2005 et BBC 2005.

L'obtention du label de haute performance énergétique (HPE), aussi appelé label HPE 2005, est réservée aux bâtiments présentant une consommation conventionnelle d'énergie au moins inférieure de 10 % à la consommation définie par la RT 2005. Rappelons que celle-ci fait désormais office de référence et constitue donc la performance minimale à respecter pour toutes les nouvelles constructions¹.

Comprendre les coefficients de mesure

Cep

La consommation conventionnelle d'énergie de votre habitation concerne le chauffage, la ventilation, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage. On l'appelle également l'énergie primaire et son coefficient Cep s'exprime en kWh d'énergie primaire/m²/an.

Cep réf

Le Cep réf est le coefficient de référence, c'est-à-dire la consommation conventionnelle d'énergie de votre habitat répondant aux caractéristiques techniques de la RT 2005. Comme le Cep, il s'exprime en kWh d'énergie primaire/m²/an.

Cep max

Le Cep max, comme les Cep précédents, regroupe la consommation de chauffage, de climatisation et de production d'eau chaude sanitaire. Des Cep max sont fixés pour chaque zone climatique et ne doivent pas être dépassés (voir tableau et carte de la page suivante).

Ubât

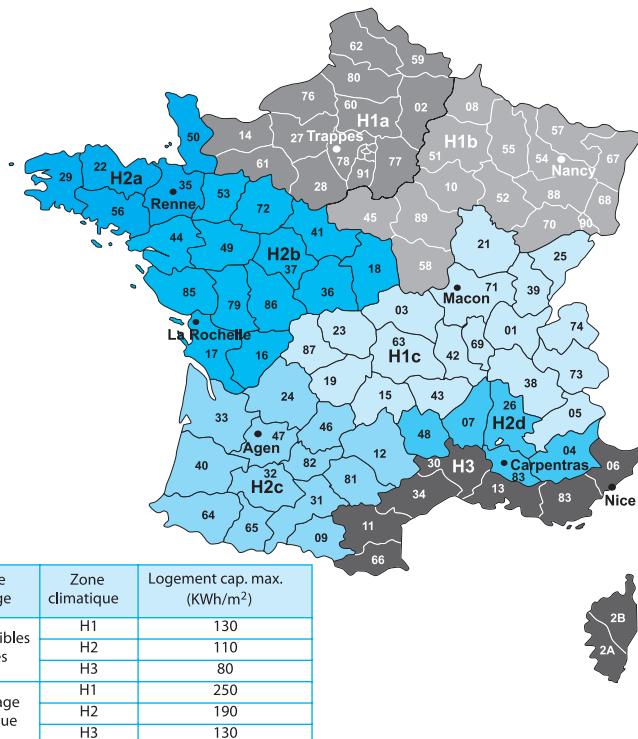
Toutes les déperditions thermiques dues à l'isolation et aux menuiseries et autres ouvertures de votre habitation sont traduites par le coefficient Ubât. Il s'exprime en W/m².K.

Ubât réf

Le coefficient de référence en ce qui concerne les déperditions thermiques est appelé Ubât réf. Il s'exprime également en W/m².K.

-
1. Pour le label HPE :
 - Cep \leq 0,90 x Cep réf
 - Cep chauffage-refroidissement-production d'ECS \leq 0,90 x Cep max

3.1 – Cartes des zones climatiques



Coefficient et zones climatiques

Zones climatiques	Coefficient a	Cep max
H1a, H1b	1,3	130
H1c	1,2	120
H2a	1,1	110
H2b	1,0	100
H2c, H2d	0,9	90
H3	0,8	80

Le label HPE EnR

Un niveau est adjoint à ce label sous la dénomination HPE EnR 2005, pour les bâtiments respectant les exigences du label HPE et dont au moins 50 % de l'énergie employée pour le chauffage vient d'une installation biomasse ou alimentée par un réseau de chaleur utilisant plus de 60 % d'énergies renouvelables.

Le label THPE

Le label très haute performance énergétique (THPE) définit quant à lui une consommation conventionnelle d'énergie au moins inférieure de 20 % à la consommation de référence définie par la RT 2005¹.

Le label THPE EnR

Un niveau est également adjoint au label THPE sous la dénomination THPE EnR 2005, mais cette fois-ci pour les bâtiments respectant des exigences encore supérieures : avec un gain de 30 % par rapport à la RT 2005. Pour bénéficier de ce label, les bâtiments concernés devront également utiliser les énergies renouvelables comme la biomasse, les pompes à chaleur, le solaire thermique ou photovoltaïque. L'arrêté détaille avec précisions les exigences en la matière².

-
1. Pour le label THPE :
 - Cep $\leq 0,80 \times$ Cep réf
 - Cep chauffage-refroidissement-production d'ECS $\leq 0,80 \times$ Cep max

-
2. Pour le label THPE EnR :
 - Cep $\leq 0,70 \times$ Cep réf
 - Cep chauffage-refroidissement-production d'ECS $\leq 0,70 \times$ Cep max

Le label BBC

Le label bâtiment basse consommation énergétique (BBC 2005), calqué sur le label Effinergie® (lui-même inspiré du label suisse Minergie® et du label allemand Passiv haus), pourra être attribué aux bâtiments de logements neufs consommant au maximum 50 kWhep/m²/an à ajuster d'un facteur 0,8 à 1,3 selon l'altitude et la zone climatique, ainsi qu'aux bâtiments tertiaires présentant une consommation inférieure à 50 % de la consommation conventionnelle de référence de la RT 2005.

De plus, une des six conditions suivantes doit être satisfaite :

- Le bâtiment est équipé de panneaux solaires assurant au moins 50 % des consommations en eau chaude sanitaire et la part de la consommation conventionnelle de chauffage par un générateur utilisant la biomasse est supérieure à 50 %.
- Le bâtiment est équipé de panneaux solaires assurant au moins 50 % des consommations en eau chaude sanitaire et le système de chauffage est relié à un réseau de chaleur alimenté à plus de 60 % par des énergies renouvelables.
- Le bâtiment est équipé de panneaux solaires assurant au moins 50 % de l'ensemble des consommations en eau chaude sanitaire et du chauffage.
- Le bâtiment est équipé d'un système de production d'énergie électrique utilisant les énergies renouvelables qui assure une production annuelle d'électricité de plus de 25 kWh/m² Shon (surface hors œuvre nette) en énergie primaire.
- Le bâtiment est équipé d'une pompe à chaleur dont les caractéristiques minimales sont données en annexe, p. 139.
- Pour les immeubles collectifs et pour les bâtiments tertiaires à usage d'hébergement, le bâtiment est équipé de panneaux solaires assurant au moins 50 % des consommations en eau chaude sanitaire.

Pour les bâtiments à usage d'habitation, la consommation conventionnelle d'énergie primaire du bâtiment pour le chauffage, le refroidissement, la ventilation, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage des locaux est inférieure ou égale à une valeur en kilowattheure par mètre carré et par an d'énergie primaire qui s'exprime sous la forme : $50 \times (a + b)$.

La valeur du coefficient « a » est fonction des zones climatiques définies dans l'arrêté du 24 mai 2006.

La valeur du coefficient « b » est fonction de l'altitude du terrain d'assiette de la construction.

Pour les bâtiments destinés à un autre usage que l'habitation, la consommation conventionnelle d'énergie primaire pour le chauffage, le refroidissement, la ventilation, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage des locaux est inférieure ou égale à 50 % de la consommation conventionnelle de référence définie à l'article 9 de l'arrêté du 24 mai 2006.

Exclusivement pour ce label, le coefficient de transformation en énergie primaire de l'énergie bois pour le

Fig. 3.2 – Label Minergie



calcul des consommations conventionnelles d'énergie primaire est, par convention, égal à 0,6.

Le label Effinergie

L'association à but non lucratif Effinergie¹ a pour objectif la promotion des constructions à basse consommation d'énergie, soit des bâtiments consommant 50 % d'énergie en moins par rapport à des constructions conventionnelles.

L'enjeu est donc de taille. Actuellement, la consommation d'énergie en France pour le chauffage atteint en moyenne 180 à 200 kWhep/m²/an. La nouvelle réglementation thermique 2005 fixe à environ 85 kWhep/m²/an la consommation maximum de chauffage des logements neufs. Mais l'association Effinergie veut aller plus loin avec ce label bâtiment basse consommation : ce dernier certifiera des bâtiments consommant moins de 50 kWhep/m²/an pour les nouvelles constructions et moins de 80 kWhep/m²/an pour les rénovations et réhabilitations. Il est prévu que ces exigences soient déclinées et différencieront selon les types de bâtiment d'une part et les zones climatiques d'autre part pour tenir compte des spécificités régionales. Le label se basera sur le référentiel développé par l'association Effinergie dans le cadre du Programme de recherche et d'expérimentation sur l'énergie dans les bâtiments (Prebat).

Face à l'émergence de nombreuses initiatives régionales, ce label franco-français, uniforme et fédéré sous une marque identifiable et reconnue, doit donc permettre de donner une meilleure visibilité au grand public et à l'ensemble des professionnels. Il peut être l'équivalent du label allemand Passiv Haus et du label suisse Minergie. Mais de nombreux points doivent encore être précisés, notamment en ce qui concerne l'articulation de ce label français avec les labels HPE et THPE, et avec ses homologues allemand et suisse : les bâtiments construits selon les labels voisins seront-ils systématiquement reconnus par le label Effinergie et inversement ? La question est d'autant plus importante qu'il serait envisagé de faire bénéficier les propriétaires de bâtiments économies d'une exonération de taxes foncières.

1. www.effinergie.org

Fig. 3.3 – Label Effinergie





Partie 2

Technique bioclimatique et choix des matériaux

4> Diminuer ses besoins en chauffage et climatisation avec la bioclimatique

Les principes de base

Le premier objectif est la gestion harmonieuse des bâtiments : il vise à exploiter au mieux les opportunités offertes par le site sur lequel sera implantée votre maison dans le but de se créer un cadre de vie agréable.

Cet objectif sera bien sûr déterminé par le choix du terrain sur lequel votre maison sera implantée. Mais ce n'est pas tout, la relation sera d'autant plus harmonieuse que le voisinage sera agréable, que le village ou la ville qui accueillera le projet sera plaisant à vivre et que le bâtiment que vous construirez répondra à des critères de qualité, gages de confort et de tranquillité.

Le choix du terrain et l'environnement extérieur

La première étape d'une construction est le choix d'un terrain. Celui-ci ne se fait pas au hasard : vous allez effectuer votre choix suivant des

critères bien précis. Ensuite, une fois cette étape franchie, vous vous demanderez si votre futur cadre de vie est agréable, par exemple en cherchant à savoir si la parcelle n'est pas sur une ancienne carrière ou marnière, ou encore en étudiant les risques d'inondations potentielles.

Vous demanderez à consulter le PLU (Plan local d'urbanisme)¹ et, le cas échéant, vous irez rencontrer les autorités locales afin de savoir si elles ont des projets en matière d'infrastructures. Vous chercherez également à connaître les projets des collectivités territoriales (conseil général ou régional, voire l'État dans certains cas).

Vous pouvez aussi vous adresser au BRGM (Bureau de recherche géologique et minière), à la direction départementale de l'équipement, ou aller voir directement sur le site www.brgm.fr afin de connaître la composition du terrain sur lequel vous allez planter votre construction.

Puis vous étudierez votre environnement immédiat, comme les bâtiments industriels, agricoles, les aéroports, gares et autoroutes, afin d'éviter certains désagréments (bruits, odeurs, etc.).

L'environnement extérieur est en partie traité par la cible 1 (l'intégration du bâtiment dans le site) et s'avère primordial dans l'acte de construire, car il conditionne l'environnement immédiat et l'implantation : position de l'édifice sur la parcelle, position de votre construction par rapport au soleil, au vent, aux cours d'eau, etc. D'autres facteurs interviennent encore, comme le voisinage et les transports (voie ferrée, couloir aérien, voie routière à moyenne voire grande circulation, etc.).

Vous devrez :

Éviter que l'édifice ne soit trop encaissé par rapport aux autres bâtiments : certes il sera protégé du vent, mais il sera aussi privé de lumière naturelle.

Éviter que l'édifice ne soit trop exposé aux éléments, comme le vent, et dans ce but envisager une haie suffisamment haute pour le protéger.

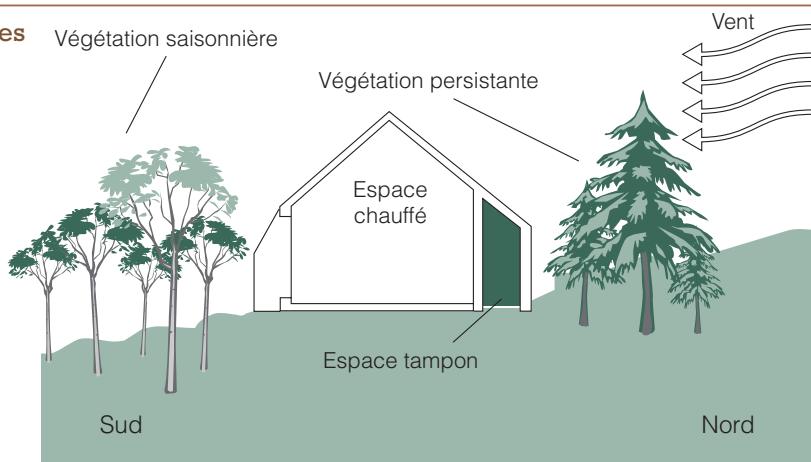
- Connaître les risques d'inondation éventuels.
- S'informer sur la nature du sol pour envisager le type de fondation le mieux adapté à votre construction, voire pour votre chauffage si vous vous orientez vers la géothermie. Cela vous permettra aussi de savoir si vous avez une nappe phréatique, ce qui est intéressant pour ce type de chauffage, ou s'il vous faudra envisager une géothermie verticale ou horizontale (par exemple un sol argileux n'est pas favorable, il faudra ajouter du sable pour avoir de meilleurs échanges thermiques).

1. Pour obtenir ce type d'informations, adressez-vous à votre mairie.

L'extérieur : des plantations pour réguler l'air

En matière de construction, on veillera à travailler aussi sur le traitement des espaces verts de manière à augmenter le traitement hygrothermique du bâti en n'ayant pas recours systématiquement à l'installation d'un système de climatisation, gros consommateur d'énergie non renouvelable. Vous pouvez par exemple envisager la plantation d'essences à feuilles caduques protégeant les façades exposées l'été et laissant passer les rayons du soleil l'hiver. On veillera aussi à préserver la perméabilité des sols en privilégiant les emprises végétales et en favorisant la récupération des eaux de pluie de manière à limiter l'utilisation de l'assainissement communal ou urbain.

Fig. 4.1 – Exemples de plantations protégeant de la chaleur l'été et laissant passer le soleil l'hiver



Enfin, il ne faut jamais prendre la décision de construire un bâtiment sans avoir consulté le voisinage ainsi que les riverains avec lesquels des concertations devront être menées dès la phase de programmation.

L'orientation

Pensez aux zones climatiques. Nous l'avons déjà évoqué : on distingue quatre zones importantes en France, qui correspondent à cinq types de climat : océanique, semi-continental, continental, méditerranéen et montagnard. Garder en tête la zone à laquelle vous appartenez vous permettra de mieux appréhender les choix de matériaux, de chauf-

fage, et les postes d'économies d'énergie.

Deux objectifs doivent être pris en compte dans le cadre de cette première cible¹ : orienter votre maison et limiter les risques de nuisances.

Orienter votre bâtiment en fonction de la course du soleil permettra d'optimiser l'utilisation passive du soleil l'hiver et de la limiter l'été. Limiter les ouvertures donnant sur des endroits trop venteux évitera une exposition trop froide l'hiver, et optimiser l'utilisation des ouvertures côté sud favorisera au maximum

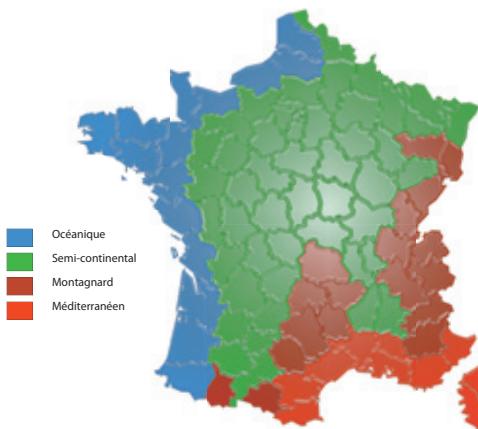
l'éclairage naturel. Évaluer au mieux l'implantation de votre maison par rapport au relief, à la végétation existante, aux eaux superficielles, à la nature du sol et du sous-sol. Il faudra aussi veiller à étudier si le terrain est proche d'un réseau d'électricité, d'un réseau d'assainissement et/ou d'eau potable.

Limitez en amont les risques de nuisances de voisinage en direction comme en provenance de votre bâti, en faisant attention lors de la construction de réduire au maximum les nuisances sonores (en choisissant notamment des jours et des heures propices). Limitez voire évitez les odeurs, la pollution visuelle (silos, préfabriqués, etc.), favorisez les rayonnements du soleil, la lumière, et ne négligez pas l'accessibilité.

Tous les facteurs de réussite passent par un diagnostic approfondi des lieux d'implantation complété par un examen spécifique des forces et des faiblesses du lieu, et par un travail sur l'impact de la construction dans une perspective de qualité environnementale.

La conception de votre maison doit répondre à un ensemble d'exigences élémentaires qu'il est important de cerner dès la phase initiale du projet (décision en matière de chauffage, de gestion des eaux, d'orientation des bâtiments, voirie, gestion des déchets, etc.). Ces sujets sont souvent repris par d'autres cibles plus spécifiques. Par exemple la gestion des eaux pluviales est reprise plus spécifiquement dans la cible 5. Dans la majorité des cas, les gestionnaires de projets se limitent à la notion d'enveloppe du bâtiment ainsi qu'aux relations entre la construction et l'extérieur.

Fig. 4.2 – Quatre zones climatiques importantes

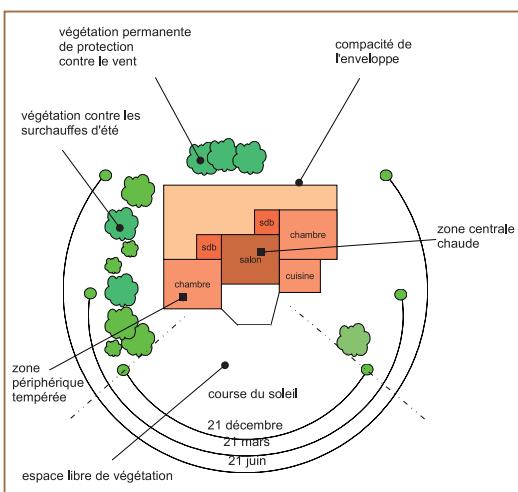


1. Cible de la démarche HQE : relation harmonieuse des bâtiments avec leur environnement immédiat, voir p. 14.

1. L'orientation plein sud est toujours un atout : le soleil étant en haut en été, il est facile de s'en protéger et sa présence en hiver favorise les apports en chauffage passif.

2. Attention, pour que cette conception bioclimatique soit efficace, les huisseries doivent être irréprochables et assurer une bonne isolation (vitrage double ou triple, peu émissif, voir p. 83).

**Fig. 4.3 –
Exemple
d'orientation**



Il est conseillé dès l'achat de votre terrain de réfléchir à l'orientation de la maison en fonction des éléments (vent, soleil, etc.), de l'altitude, de l'architecture des habitations environnantes, etc. C'est ce qu'on appelle la conception bioclimatique. En effet, ce principe consiste à favoriser une inertie thermique maximale en concevant une architecture qui capte la chaleur le jour pour la restituer la nuit. Pour cela, on conseille une orientation des façades principales sud-est et sud-ouest¹, avec des surfaces assez fortement vitrées de manière à profiter des apports solaires de mi-saison et d'hiver lorsque le soleil est bas sur l'horizon². On priviliera le garage au nord, il constituera ainsi un espace tampon contre le froid dans les régions froides de France.

L'extérieur : des plantations pour réguler l'air

En matière de construction, on veillera à travailler aussi sur le traitement des espaces verts de manière à augmenter le traitement hygrothermique du bâti en n'ayant pas recours systématiquement à l'installation d'un système de climatisation, gros consommateur d'énergie non renouvelable. Vous pouvez par exemple envisager la plantation d'essences à feuilles caduques protégeant les façades exposées l'été et laissant passer les rayons du soleil l'hiver. On veillera aussi à préserver la perméabilité des sols en privilégiant les emprises végétales et en favorisant la récupération des eaux de pluie de manière à limiter l'utilisation de l'assainissement communal ou urbain.

Si vous avez choisi d'utiliser le soleil soit pour vous chauffer, soit pour avoir de l'eau chaude sanitaire, ou pour les deux, ou encore pour la production d'électricité d'origine photovoltaïque, il est impératif qu'un pan principal du bâtiment soit orienté plein sud, pour que les panneaux solaires le soient. Si tel n'était pas le cas, vous perdriez beaucoup d'énergie solaire et recevriez de ce fait moins d'énergie pour chauffer votre eau et/ou vous chauffer, ou produire votre électricité. Vous évaluerez la course du soleil, le vent, le relief, la végétation existante, la nature du sol et du sous-sol, les accessibilités au réseau électrique, etc.

La conception et l'environnement intérieur

Travaillez sur la quantité de lumière naturelle en utilisant le facteur de la lumière du jour et les paramètres de la lumière naturelle (surfaces vitrées, volumétrie de la pièce, couleur des parois). Il est essentiel de modéliser la qualité de la lumière naturelle par rapport aux différents usages afin d'éviter les éblouissements, les contrastes et l'uniformité.

Développez une stratégie adaptée aux habitations des particuliers avec une bonne protection solaire, en travaillant sur la qualité des vitrages (faiblement émissifs ou de type ITR) et sur la modulation de la lumière. Le choix d'un modèle compact diminue les déperditions de votre bâtiment en hiver, une construction traversante favorise la ventilation naturelle l'été. Ce sont en fait les bases d'une construction bioclimatique.

Effectuez des simulations afin d'identifier les déperditions d'enveloppe (déperditions par l'air, les parois, les systèmes de ventilation), les facteurs de confort d'été de plus en plus importants (matériaux à très forte inertie thermique), et les choix à faire dans ce domaine (rafraîchissement par plancher, puits canadien ou confort assuré par des systèmes passifs).

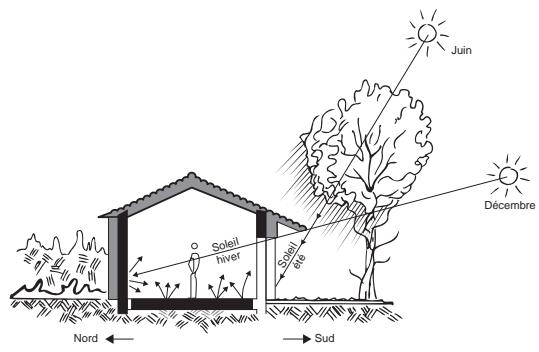
Les choix dans ce domaine doivent être effectués de manière cohérente, car ils ont un effet déterminant sur le confort thermique, acoustique et visuel ainsi que sur les économies d'énergie. De tous ces choix et analyses préalables dépendront en grande partie la réussite de votre projet.

Le brise-soleil

On peut se protéger des rayons verticaux et chauds d'été par des avancées au sud de la maison. On appelle ces avancées des brise-soleil, car leur rôle est d'empêcher les rayonnements excessifs en été (saison à laquelle le soleil est au plus haut) tout en laissant pénétrer le soleil l'hiver (voir figure 4.4).

Pour intégrer un brise-soleil, il n'est pas obligatoire d'opter pour une avancée classique. Vous pouvez choisir d'insérer un débord de toiture, des pergolas ou autres procédés remplissant ces fonctions.

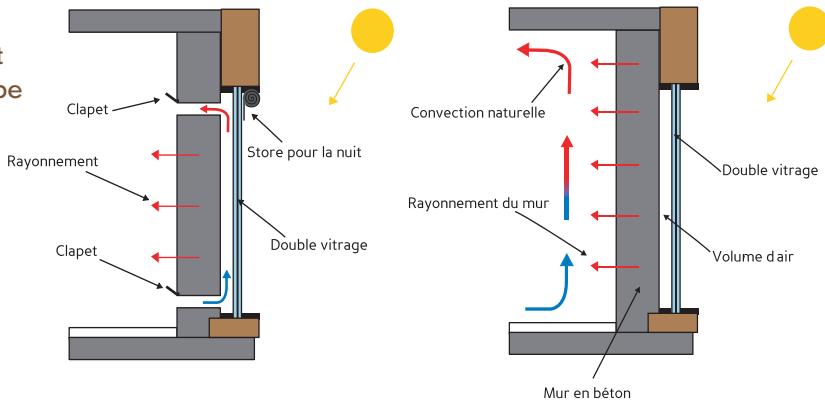
Fig. 4.4 – Exemple de brise-soleil



Le mur Trombe

Le mur Trombe (du nom de l'un de ses concepteurs, Michel Trombe) reprend le principe d'un effet de serre : un vitrage capte la chaleur, derrière ce vitrage se trouve un mur accumulateur (suffisamment épais et isolant) : l'air chauffé monte et pénètre vers le haut, l'air refroidi dans la pièce ressort vers le bas (voir figure 4.5).

Fig. 4.5 – Fonctionnement d'un mur Trombe



Caractéristiques

Orientation : plein sud.

Régions appropriées : climat de montagne ensoleillé, Provence (forte amplitude thermique).

Ouvertures : 3 % de la surface du mur et si celui-ci fait 4 m², vos ouvertures ne doivent pas faire plus de 1,20 m.

Ossature : bois ou béton.

Mur béton : 20 à 30 cm maximum. Attention aux murs trop épais, insuffisamment chauffés en profondeur l'hiver, et aux murs trop fins, responsables des déperditions thermiques.

Mur capteur : réellement efficace lorsqu'il représente 10 % de la surface habitable.

Conseil de mise en œuvre : utiliser des blocs de parements pour le mur capteur pour faciliter la réalisation et réduire les coûts.

Couleur sombre conseillée pour le mur capteur.

Double-vitrage peu émissif.

Clapets indispensables pour bloquer l'air lorsque le chauffage de l'air est insuffisant, permettant ainsi de ne pas tout refroidir.

Les caractéristiques indiquées dans l'encadré sont données à titre de conseils, il faut garder à l'esprit que celles-ci dépendent des matériaux choisis et du taux d'ensoleillement.

Les volets roulants

On peut envisager un système de volets roulants sur la façade ouest, permettant d'ajuster la surface vitrée souhaitée en fonction des saisons, de l'heure de la journée et du degré d'ensoleillement. La surface vitrée sera moins importante sur la façade est puisque celle-ci est ensoleillée le matin. Les volets peuvent cependant être nécessaires si cette façade est exposée au vent froid en hiver. On privilégiera aussi un éclairage naturel représentant au moins 16,6 % de la surface au sol de la pièce y compris dans l'entrée et la salle de bain.

Vivre dans une maison passive ou à basse consommation d'énergie

Une fois l'habitation terminée, il faut apprendre à y vivre. Les habitudes et réflexes acquis dans le passé (ouverture des fenêtres pour aérer par exemple) doivent être proscrits si vous voulez respecter au mieux les performances de votre habitation.

Vous devez maintenant apprendre à piloter votre maison afin d'optimiser la qualité des matériaux et matériels que vous avez choisis. Par exemple, ouvrir les volets aux intersaisons afin de capter les rayons passifs du soleil ; fermer ceux-ci en été en fonction de la course du soleil afin d'éviter que la chaleur ne rentre ; ne plus ouvrir les fenêtres si vous avez une VMC double-flux qui effectuera le changement d'air sans réchauffer l'été et sans refroidir l'hiver, etc.

L'isolation

On veillera à isoler la dalle en contact avec le sol, ainsi que le toit. Cette isolation apporte un confort tant d'hiver que d'été, quel que soit l'endroit de France où l'on habite, sachant que le toit est une surface très exposée aux déperditions thermiques en hiver et aux rayonnements solaires en été. On veillera à avoir une résistance thermique en toiture d'au moins $6 \text{ m}^2 \text{ K W-1,8}$ étant parfait.

On estime que, si vous respectez ces conseils, vos gains seront de l'ordre de 10 % sur la consommation totale en énergie primaire par rapport à une construction qui ne ferait pas attention à ces critères.

L'efficacité énergétique des bâtiments dès la conception

Les plans d'exécution de plomberie et d'électricité doivent être établis et non modifiés, surtout si vous choisissez une maison à ossature en bois. En effet, ils sont envoyés directement en usine où un précablage et le passage de certains tuyaux seront effectués de manière à ce que l'isolant ainsi que le pare-vapeur ne soient pas dégradés. Ainsi toute leur efficacité, tant à l'air qu'au niveau de leurs performances en matière d'isolation, sera préservée.

Votre priorité dans ce domaine doit demeurer l'isolation thermique avec traitement des ponts thermiques, afin de garantir l'étanchéité à l'air. Celle-ci est souvent fonction de la qualité de mise en œuvre des matériaux choisis et de la gestion des apports solaires à favoriser en hiver et à éviter en été.

La ventilation : VMC et puits canadien

Les études effectuées au niveau de l'optimisation de l'enveloppe au sens large montrent que limiter au maximum les pertes par les parois et la ventilation doit demeurer la priorité dans le cadre d'une construction neuve et que travailler efficacement sur cette partie procure le meilleur retour sur investissement.

Ventilation mécanique contrôlée

Une VMC (ventilation mécanique contrôlée) est un système dont le but est de renouveler l'air de votre logement. Elle contribue en particulier à limiter l'humidité due à la condensation (les logements étant de mieux en mieux isolés) et aux dégradations qui en résultent (développement de moisissures). En effet, chaque occupant d'une maison utilise environ 1 l à 1,5 l d'eau par jour (prises de bain ou de douche, cuisine, nettoyage, etc.). Cette eau génère de la vapeur et donc de l'humidité.

L'air se vicié rapidement à cause de l'humidité, des poussières, des odeurs, des fumées de cigarettes, des gaz d'échappement mais aussi du radon ou de gaz formaldéhyde issus des produits ménagers entre autres, des colles et des agglomérés. Il est donc nécessaire de renouveler l'air pour éviter le développement de moisissures, éliminer les polluants intérieurs et maintenir un taux d'humidité de 40 à 60 % dans l'atmosphère intérieure. Une bonne ventilation va donc permettre

d'évacuer l'air vicié pour le remplacer par de l'air neuf, toutes les 3h.

L'amélioration des performances thermiques de l'enveloppe des bâtiments augmente la part relative de la ventilation dans les besoins de chauffage jusqu'à lui faire prendre une part prépondérante. Il est donc nécessaire, dans ces bâtiments, de réduire cette charge thermique due au renouvellement d'air.

En matière d'aération comme de ventilation, le bon dimensionnement de l'installation demeure la condition sine qua non de la performance de ce système. Une bonne intégration des équipements dans la construction doit également permettre de préserver dans le temps ses performances initiales.

Comment fonctionne une VMC ? Il s'agit en fait d'un groupe de ventilation, placé dans les combles ou en sous-plafond si l'espace est suffisant, et de gaines reliées à des bouches d'aération se trouvant dans les pièces humides (cuisine, salle de bain, toilettes). L'air neuf est prélevé par les entrées d'air des pièces « sèches » (séjour, chambre, bureau, salon, etc.) pendant que l'air vicié est extrait des pièces humides et remplacé par cet air neuf. La VMC fonctionne bien entendu en permanence.

Une VMC hygroréglable B est un système possédant des entrées d'air et des bouches d'extraction hygroréglables donc limitant les pertes de chaleur.

Dans le cas d'une VMC double flux, l'air neuf est soufflé mécaniquement. Ce processus permet une filtration de l'air neuf et dans certains cas une récupération des calories extraites. Toutefois, l'utilisation de deux moto-ventilateurs génère un accroissement des consommations électriques ainsi qu'un coût d'achat et de mise en œuvre plus important.

Conformément à la RT 2005, on envisagera des systèmes de ventilation de type hygroréglable B. Cela permet de minimiser la charge thermique en réduisant les débits de renouvellement d'air.

Vous pouvez faire installer soit une VMC simple flux hygroréglable B, c'est-à-dire que le débit nécessaire est mesuré en fonction du taux d'humidité, en maintenant un débit minimal garantissant une hygiène parfaite, soit une VMC double flux. Le principe de la VMC double flux est de préchauffer l'air neuf entrant dans la maison en récupérant la chaleur de l'air vicié évacué. On estime l'économie sur les pertes d'énergie à 60 %, soit une économie de chauffage estimée à 8 % par rapport à une VMC hygroréglable B. Le système est plus compliqué

dans la mesure où son installation nécessite une isolation des gaines et une évacuation des condensats.

Comment dimensionner une VMC ? Vous pouvez faire appel à un professionnel ou le faire vous-même. Sachez toutefois que la ventilation est un domaine très réglementé. Pour faire une ventilation conforme, il est nécessaire de respecter le DTU 68-1.

Voici un tableau qui vous donnera des indications sur les débits nécessaires :

Nombre de pièces principales	Débits en mètre cube par heure et par type de pièces				
	cuisine	Salle de bain ou douche	Autre salle d'eau	Toilettes unique	Toilettes multiple
1	75	15	15	15	15
2	90	15	15	15	15
3	105	30	15	15	15
4	120	30	15	30	15
5 et plus	135	30	15	30	15



Fig. 4.6 – VMC simple flux



Fig. 4.7 – VMC double flux

Conseil

Optez plutôt pour une VMC performante ou double flux qui préchauffe l'air entrant dans le logement donc diminuera la consommation de chauffage de l'ordre de 20 %. Inconvénient : elle nécessite un entretien très régulier et plus lourd que pour une VMC hygroréglable.

Durabilité et entretien de l'installation. Il est important que l'ensemble des composants de cette VMC soient compatibles entre eux. Tout comme il est indispensable de veiller à leur positionnement afin de faciliter les futures interventions d'entretien et de maintenance. Le démontage du caisson ventilateur, comme celui du caisson de récupération, doit être réalisable sans nécessiter la déconnexion du réseau aéraulique, afin d'effectuer facilement les interventions courantes d'entretien et de maintenance.

Mémo entretien

3 à 4 fois par an : lavez les bouches d'extraction des pièces de service.

1 fois par an : nettoyez les filtres.

Tous les 1 ou 2 mois : nettoyez les entrées d'air.

Tous les 3 ans : un nettoyage complet du système est nécessaire (gaines, bloc-moteur, entrées d'air, etc.). Pour ce nettoyage, vous pouvez faire appel à un spécialiste : pour un simple entretien, comptez environ 150 €. Si vous décidez de le faire vous-même, sachez qu'aucune réglementation ne vous oblige à validation, sauf si vous avez opté pour une VMC gaz pour laquelle le recours à un spécialiste est obligatoire.

Nous allons détailler une installation de VMC thermodynamique. Vous pouvez avoir recours à ce type d'installation pour la VMC.

- L'air neuf est introduit dans la centrale où il est filtré.
- L'air neuf réchauffé est insufflé par les diffuseurs dans les chambres et le séjour.
- L'air vicié est collecté.
- L'air est rejeté à l'extérieur de l'habitation après son refroidissement.

Cette VMC refroidit quasi instantanément l'air extrait et restitue les calories prélevées à l'air neuf insufflé. L'économie d'énergie est de l'ordre de 30 à 40 %. Cela vient du fait qu'il faut environ quatre fois moins d'électricité pour transférer l'énergie (effet thermodynamique) que pour la produire (effet joule). Les deux circuits d'air (air extrait/air neuf) sont étanches et indépendants.

En été, on procède à une inversion de cycle, on rafraîchit et déshumidifie l'habitation (climatisation douce).

Puits canadien¹

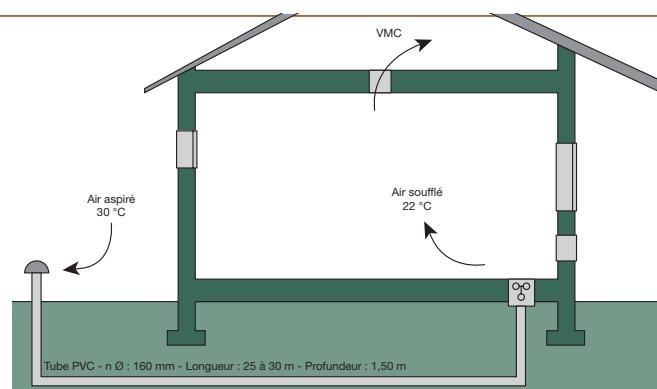
L'amélioration de la conception des bâtiments et leur meilleure efficacité énergétique ont conduit à un intérêt croissant en faveur des systèmes de rafraîchissement estival et de préchauffage hivernal tels que le puits canadien, encore appelé puits provençal.

On s'est en effet rendu compte que dans les bâtiments bien isolés, le renouvellement d'air a un effet négatif sur le bilan énergétique des constructions puisqu'il nécessite environ $100 \text{ MJ/m}^2/\text{an}$ pour un taux de renouvellement d'air standard de $50 \text{ m}^3/\text{h}$.

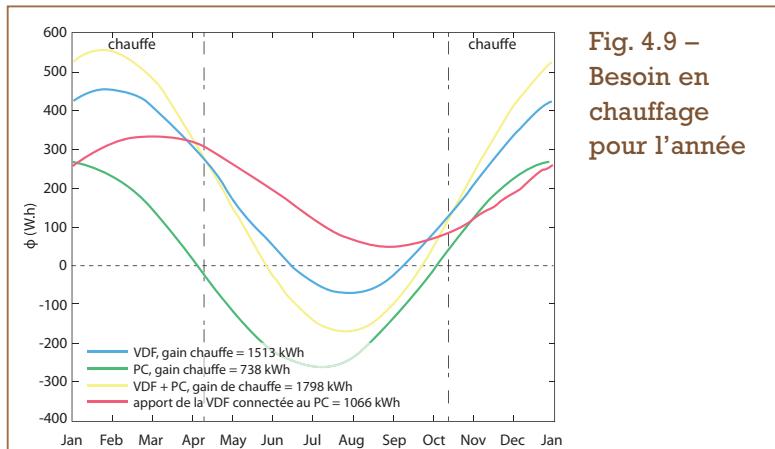
Le seuil dit de confort en matière de température est de 20°C . En hiver, la température extérieure est très inférieure à 20°C dans la plupart des régions de France et en été, elle est très supérieure à cette valeur. Le rôle du puits canadien est donc de tempérer l'air entrant en été comme en hiver. En été, l'air extérieur sera rafraîchi en passant par le puits canadien et en hiver, il sera réchauffé, sachant que la température du sol est quasi constante à -2 m de profondeur.

En ce qui me concerne, je pense que l'utilité du puits canadien est maximum pour une profondeur comprise entre -2 m et -3 m . Les gains pour des profondeurs plus importantes ne sont pas significatifs au regard des investissements nécessaires pour ce type de prestation.

Fig. 4.8 –
Principe de fonctionnement
du puits canadien



Le schéma ci-dessous vous permet de vous rendre compte de l'utilité du puits canadien. On notera que l'ensemble des courbes correspond à un débit d'air de 90 m³/h et que le gain de chauffe annuel est donné par rapport à une ventilation mécanique avec prise d'air extérieur.



On constate que la VMC double flux est le système le plus efficace pour diminuer les besoins en chauffage induits par la ventilation. Le fait de coupler la VMC double flux avec le puits canadien permet de gagner 10 %. En période estivale, le puits canadien est la meilleure solution ; le fait de le coupler avec la VMC double flux lui fait perdre de l'efficacité. Aux intersaisons, cette solution est intéressante ; si vous utilisez un puits canadien seul, il est important de faire installer un système de bypass pour les saisons intermédiaires. Un bypass automatique pour l'intersaison permet un gain d'énergie supplémentaire de plus de 15 %. Des études montrent que le couplage d'une VMC simple flux et d'un puits canadien est peu coûteux et apporte un gain thermique important en hiver et un rafraîchissement notable en été.

Le choix des matériaux²

En matière de haute qualité environnementale, le choix des matériaux est fondé sur un ensemble de critères d'usage, techniques, économiques et esthétiques, auxquels viennent s'ajouter les critères

2. Le choix des matériaux fait référence à la cible 2 de la démarche HQE : choix intégré des procédés et produits de construction.

environnementaux. Ceux-ci concernent principalement l'économie des ressources naturelles, la maîtrise des risques environnementaux et la santé. Toutes ces références doivent être prises en compte lors de la fabrication des matériaux et des produits, lors de leur mise en œuvre, pendant la vie du bâtiment ainsi que lors de la démolition future.

Choisir les procédés de fabrication et les matériaux respectueux de l'environnement, c'est :

- Faire en sorte de choisir des matériaux de construction, pour le gros œuvre comme pour le reste de la construction, y compris les finitions, la maintenance, l'entretien, le fonctionnement et par la suite la démolition, qui utiliseront le minimum de ressources les plus rares telles que les matières premières, les énergies d'origine fossile et l'eau. L'économie de ces ressources est aussi liée à leur éventuelle réutilisation, à la possibilité de les recycler et de les valoriser en fin de vie. La durée de vie des matériaux doit également être prise en compte. On privilégiera les matériaux les plus naturels possibles à forte inertie thermique, donc procurant un meilleur confort tout en limitant l'utilisation de chauffage en hiver ou de climatisation en été.
- Prévoir les risques de pollution des sols, de l'eau et de l'air pendant la fabrication, mais aussi ceux induits par le transport et la mise en œuvre, pendant la durée d'usage du bâtiment ainsi qu'en fin de vie.
- Évaluer la quantité d'énergie et d'eau nécessaire pour fabriquer, transporter, mettre en œuvre, entretenir, recycler, voire détruire un matériau car une consommation excessive d'énergie augmente les émissions de gaz à effet de serre. L'eau devient une ressource à préserver.
- Prendre en compte la facilité d'approvisionnement (privilégier la fabrication des matériaux au plus près de la zone de construction) et de mise en œuvre, mais également les niveaux de qualification professionnelle de la main-d'œuvre locale.

Le raisonnement menant à ces choix s'effectuera à partir de la notion de cycle de vie.

Les cycles de vie

Dans le cadre de la démarche HQE®, le choix des matériaux est basé sur un ensemble de critères d'usage tant techniques qu'économiques et esthétiques auxquels il faut ajouter des critères environnementaux. La majorité de ceux-ci ont trait à l'économie des ressources naturelles et à la maîtrise des risques environnementaux et de santé et cela tant lors de la fabrication que de la mise en œuvre, pendant la vie de votre

maison et le cas échéant pour sa démolition future. C'est l'ensemble de ces éléments que l'on appelle cycle de vie du produit.

Reste que la nécessité de disposer d'une information environnementale crédible et sérieuse sur les matériaux a petit à petit fait son chemin. Et c'est la raison pour laquelle – et compte tenu de l'importance des demandes – les industriels de la construction se sont engagés dans la rédaction d'une norme (NF XP 01-010¹) sur la qualité environnementale des produits de construction. Celle-ci s'intéresse en particulier aux ressources naturelles consommées pour créer une unité fonctionnelle d'un produit (mètre linéaire, mètre carré), à la quantité d'émissions de COV (composés organiques volatiles tels que les solvants employés dans les peintures ou les colles mais aussi les produits en bois agglosmétré, et qui s'échappent dans l'air au moment du séchage), de gaz à effet de serre dans l'atmosphère au cours de la fabrication, du transport, de la mise en place du produit, de sa vie ou de sa fin de vie, ainsi qu'aux conditions de son conditionnement. La production de déchets est aussi examinée selon un critère de valorisation ou d'élimination.

L'objectif environnemental de la construction d'un bâtiment, visant à consommer le moins d'énergie fossile, sera de répondre au mieux à un certain nombre de préoccupations dès la phase de programmation, puis lors de la conception, la réalisation et la livraison de celui-ci.

Le choix des matériaux de construction s'avère important dans la mesure où il faut choisir des matériaux à forte voire très forte inertie thermique, donc isolant très bien du froid en hiver et du chaud en été. Il faudra également se préoccuper de leurs performances environnementales.

La finalité de l'utilisation de tels matériaux n'est pas anodine dans la mesure où ceux-ci ont un impact sur le cycle de vie du bâtiment, de sa conception à sa démolition.

Des informations fiables, rigoureuses et complètes sur les cycles de vie sont en attente. À ce jour, elles laissent d'importantes zones d'incertitudes, limitant la rationalité des choix et justifiant des méthodes de précaution.

1. Pour plus d'informations sur cette norme, vous pouvez consulter le site de l'Afnor : www.afnor.org.

Le coût global partagé

Une approche environnementale de la construction se traduit toujours par une économie en matière de coût de maintenance et d'exploitation. En effet, cette démarche n'entraîne pas de surcoûts mais conduit

à un transfert des coûts différés vers des coûts d'investissements initiaux. Si cette démarche est appliquée dans les règles de l'art, on obtient à coup sûr une élévation du niveau général de la qualité et une rentabilité économique directe à moyen terme.

D'autre part, cette approche nous conduit, contrairement à ce qu'il se faisait jusqu'alors, à intégrer les coûts indirects concernant l'impact des bâtiments sur leur environnement au titre de la construction, de l'exploitation et de la destruction, jusqu'à la remise en état des terrains. À cela, on ajoutera les coûts liés au fonctionnement urbain, induits par l'ouvrage et ses utilisateurs, ainsi qu'au confort et à la santé des occupants.

Ce type de démarche permet :

- Une réduction de la contribution au réchauffement de la planète mesurée en « tonnes équivalent carbone ».
- Des économies sur la consommation d'énergies non renouvelables et de ressources naturelles.
- Une contribution à la limitation de la pollution de l'air, de l'eau et du sol.
- Une infiltration in situ des eaux pluviales, afin de réduire la charge des réseaux collectifs et de lutter contre les inondations.
- Une réduction des dépenses de santé grâce à la construction de bâtiments sains, réalisés avec des matériaux ou des produits sans dangers sanitaires.

La prise en compte de tous ces coûts vient bouleverser l'économie classique de la construction et fait émerger un concept de coût global partagé, qui sera intégré au coût global sur la durée de vie des bâtiments.

Seule l'acquisition progressive de données de plus en plus précises, et ce malgré un caractère hétérogène, permettra à terme d'obtenir des fourchettes significatives en matière de coût global partagé.

L'exercice demeure pertinent, il doit être appliqué à l'enveloppe mais aussi au poste énergie (chauffage, eau chaude sanitaire, éclairage, équipements électriques) pour la part que celui-ci représente dans le coût d'exploitation et pour la part des impacts sur l'environnement. Les consommations d'énergie des secteurs résidentiel et tertiaire représentent 40 % des consommations du pays. Sur la durée de vie d'un bâtiment, l'énergie est responsable de 70 à 80 % des impacts environnementaux.

À cet égard, la démarche environnementale que nous allons préconiser contribuera à améliorer la qualité énergétique des bâtiments en privilégiant simultanément :

- Une conception judicieuse de l'enveloppe (matériaux, isolation, orientation des ouvertures, etc.).
- Des technologies de construction adaptées et économies (en eau, en énergie, en matériaux d'assemblage, en temps de construction, etc.).
- L'utilisation d'énergie renouvelable et de matériel plus économique en énergie.
- Des équipements plus performants.
- Des modes de gestion efficaces.

Santé et HQE ?

En matière de santé, les principaux risques proviennent d'émanations de produits toxiques, apparaissant accidentellement ou après étude plus approfondie des matériaux (notons par exemple le cas de l'amiante).

L'approche environnementale ne doit pas se limiter à l'usage de matériaux renouvelés et de produits ne présentant pas de dangers pour la santé, potentiels ou connus. La démarche HQE® s'inscrit davantage dans l'optimisation des qualités de chaque matériau et dans un pragmatisme réduisant au strict nécessaire la quantité de matière mise en œuvre, selon un raisonnement à la fois technique, économique et environnemental.

Choisissez des produits de revêtements à faible émission de COV.

Optez pour des peintures acryliques sans solvant ni COV ainsi que pour des lasures en bois estampillées « NF environnement », et pour l'extérieur choisissez des peintures type hydro pliolite acrylique.

Les matériaux certifiés

Les industriels sont incités à développer l'information sur les produits et les procédés de fabrication ayant un impact sur l'environnement via les fiches de déclaration environnementale et sanitaire (FDES)¹. Il est aussi conseillé de se rendre sur le site du CSTB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (www.cstb.fr), où vous trouverez toutes les informations techniques et autres sur les matériaux que vous souhaitez utiliser.

1. Vous trouverez plus d'informations sur le site fdes.fr.

Choisissez de préférence des matériaux certifiés « NF » ou « NF environnement », « écolabel européen », et, pour les bois, privilégiez l'achat de bois écocertifiés. Ainsi vous savez que, lorsque des arbres sont prélevés, ils sont immédiatement replantés avec des essences identiques et à l'endroit même du prélèvement. Cette démarche encourage aussi l'utilisation de produits incorporant des matériaux recyclés.

Il est aussi très important de choisir des produits de traitement des bois à faible impact sur l'environnement et la santé.

Les nombreux constituants d'un bâtiment peuvent avoir des conséquences importantes sur l'environnement, les habitants et leur santé. Le choix des matériaux, leur qualité et leur mise en œuvre sont des facteurs déterminants pour la qualité du bâtiment et les coûts induits par ces choix ne sont pas négligeables.

Le gros œuvre

<5

La structure gros œuvre constitue l'enveloppe et la base de la construction du bâtiment. Elle doit faire l'objet d'une étude approfondie tant technique qu'économique ou environnementale.

La construction de bâtiment intégrant la notion de développement durable a « révolutionné » le domaine de la construction.

En matière de structure de l'enveloppe, il existe plusieurs possibilités. Il est donc important d'arriver à déterminer laquelle est la plus adaptée, et surtout d'avoir à l'esprit que l'enveloppe joue un rôle majeur dans la gestion thermique d'été et d'hiver et qu'il est de fait important de privilégier des matériaux à forte voire très forte inertie thermique.

Nous étudierons donc les possibilités de l'ossature bois, de la brique Monomur en terre cuite avec isolation intégrée ou non, déjà présente sur le marché allemand, de la Monomur en béton cellulaire, et, enfin, d'un complexe double polystyrène et armature avec coulage béton par pompe.

Le choix du matériau de structure est sans aucun doute un élément déterminant quant à la qualité de l'enveloppe de votre maison. Il est évident que les choix ne seront pas les mêmes si vous habitez Toulouse, Strasbourg, Lille ou Rennes, car les climats sont différents, de même que l'amplitude des températures¹.

Il faut savoir que les matériaux de construction sont de plus en plus performants et répondent à des normes de plus en plus exigeantes surtout en matière de développement durable.

1. Avant de vous orienter dans vos choix, consultez la carte des zones climatiques p. 26. Si aujourd'hui tous les matériaux s'adaptent à tous les climats français, le choix de l'enveloppe a une réelle importance. Si vous vivez dans une région froide (voir cartes p. 26 et 35) il est préférable de privilégier un matériau avec une très bonne résistance thermique.

Le bloc béton

Les blocs béton représentent à l'heure actuelle près de 80 % des matériaux de construction utilisés pour les maisons individuelles. Ce matériau

a fait ses preuves en termes de solidité, durabilité, rapport qualité/prix et ce serait une erreur de dire qu'il n'a plus sa place aujourd'hui.

Inertie thermique et isolation ?

L'inertie de ce produit et surtout son déphasage en termes de température, c'est-à-dire le temps mis par la chaleur ou le froid pour pénétrer à l'intérieur, est d'environ 4 h pour un parpaing. Il est évident que si vous faites le choix de construire avec ce type de produit, avec une isolation extérieure performante, vous obtiendrez un très bon résultat en termes d'isolation thermique. Cependant, son inconvénient majeur est qu'il n'est pas auto-isolant et nécessite par conséquent une isolation extérieure voire intérieure.

Oui ou non HQE® ?

Ce produit est naturel puisqu'il est composé à 87 % de granulats (gravillons et sable), à 7 % de ciment, qui est un mélange de calcaire et d'argile cuite et broyée, et à 6 % d'eau. Il est totalement recyclable, ce qui est un critère de plus en plus pris en compte par les accédants à la construction. Le bloc béton est considéré comme entrant dans le cadre d'une démarche HQE® dans la mesure où son bilan écologique (cuisson, émission de CO₂, transport, etc.) est satisfaisant. Bien sûr, il est important qu'il soit intégré dans le cadre d'un projet de construction globale suivant les préconisations d'une démarche HQE®.

-
1. Vous trouverez sur le site www.bloc-beton.org tous les renseignements utiles sur ce matériau.

En ce qui concerne les normes appliquées à ce matériau, il est indispensable que les blocs soient estampillés « NF blocs », car ce label garantit la bonne résistance de vos blocs à la compression comme à la fissuration. Les matériaux sont donc de premier choix¹.

La brique Monomur

La brique, matériau ancestral s'il en est, est un matériau céramique constitué uniquement d'argile cuite. Ses qualités mécaniques et thermiques ne sont plus à démontrer. Son pouvoir isolant est supérieur à celui du bloc béton mais, en raison de son coût, elle ne représente « que » 14 % du marché.

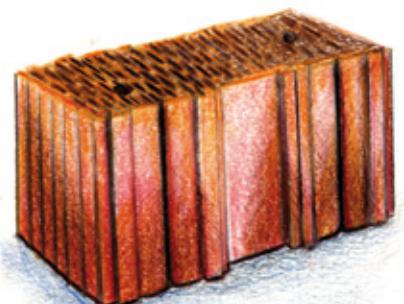
La brique a beaucoup évolué ces dernières années pour devenir un matériau technique répondant aux critères de la haute qualité environnementale.

Plusieurs fabricants se disputent le marché, chacun avec sa stratégie.

La brique Monomur est constituée en majorité d'argile et d'eau, ressources naturelles abondantes, de bille de papier, de bois, etc., et réalisée suivant un procédé de fabrication particulier lui conférant des performances thermiques intéressantes. Il s'agit d'une brique de terre à laquelle on a ajouté de la sciure de bois, des résidus cellulaires de l'industrie papetière papier et qui, lors de la cuisson, vont brûler et participer encore davantage à la résistance thermique du matériau. Elle est constituée de nombreuses alvéoles en quinconce. Par exemple,

pour une brique d'une épaisseur de 37,5 cm, le froid ou la chaleur doivent parcourir une distance de l'ordre de 1,30 m pour atteindre l'autre côté du mur. Ce produit possède de nombreuses qualités : c'est un produit classé A1 donc incombustible, il est garanti coupe-feu pendant une durée de 6 h, chimiquement neutre (en cas d'incendie il n'y aura pas d'émanations toxiques) et, composé de terre cuite et d'air, il n'attire pas les rongeurs².

Fig. 5.1 – Brique Monomur



© Françoise Donzé

-
2. En ce qui concerne ce produit, vous disposez d'un avis technique, le n°16/04-465.

Monomur et isolation

La qualité de cette brique garantit un très bon confort hygrométrique : elle préserve les murs de l'humidité et de la moisissure, permettant ainsi une bonne qualité de l'air intérieur.

La brique Monomur est sans aucun doute un matériau s'adaptant particulièrement bien aux climats que l'on peut rencontrer en France, que ce soit un climat méditerranéen, océanique, voire semi-continentale. Pour ce dernier, vous pourrez envisager des briques plus performantes, thermiquement parlant : la Porotherm 50 ou la PR42 avec isolation intégrée (elles restent cependant encore un peu chères à l'achat).

Nous retiendrons la brique Monomur de 37,5 cm, car elle est la plus utilisée actuellement et convient à tous les climats.

Les briques Monomur sont des briques auto-isolantes dont les alvéoles multiples permettent une isolation thermique répartie et inaltérable ainsi qu'une isolation phonique. Elles vous assurent un habitat bioclimatique. Les caractéristiques d'isolation thermique de la terre cuite, les alvéoles multiples, étroites et décalées par rapport au flux thermique ainsi que l'épaisseur du mur font qu'il n'est pas nécessaire d'utiliser un isolant spécifique surtout si on veut lui garder ses propriétés de confort d'été. En effet, le déphasage thermique de ce produit est d'environ 12 h, ce qui lui confère des propriétés de confort d'été importantes si l'on respecte certaines consignes, comme fermer les volets dans la journée et laisser entrer la fraîcheur la nuit. La température intérieure est inférieure d'environ 4 à 6 °C à celle générée par une construction parpaing ou béton seul. De plus, la brique Monomur en terre cuite consomme relativement peu d'énergie durant son cycle de vie et permet d'économiser de l'énergie tant en hiver, en chauffant moins, qu'en été, puisque la température intérieure reste correcte et par conséquent ne nécessite pas de climatisation.

La technologie des briques Monomur permet d'économiser en isolation intérieure et en enduit de plâtre ou de chaux.

L'isolation faisant partie intégrante de la brique, aucun risque de tassement ou autre dégradation n'est à craindre, garantissant de ce fait la performance énergétique de l'ouvrage même après de longues années.

En cas d'inondation, ce matériau retrouve toutes ses propriétés thermiques et mécaniques après séchage. Ce produit est aussi para-sismique.

La terre cuite présente une capillarité structurelle lui conférant des propriétés de respiration naturelle et permet de maintenir un taux d'humidité de l'air ambiant optimum. Ce produit possède une résistance à l'écrasement tout à fait exceptionnel, 300 tonnes par mètre linéaire et un poids maximum de 320 kg/m², ce qui lui confère de grandes qualités en matière d'isolation phonique.

Ce produit a l'avantage d'être auto-isolant, respirant et de disposer d'une très bonne diffusivité thermique, en faisant un produit particulièrement adapté au climat méditerranéen où l'on recherche un déphasage important, surtout en été, période où l'on peut aérer au maximum et de fait ne pas ressentir la chaleur et emmagasiner la fraîcheur pour la journée du lendemain. Il est aussi très bien adapté au climat atlantique,

plus pluvieux, et semi-continental, pour les raisons évoquées plus haut, avec la possibilité d'augmenter la résistance thermique avec la R50 ou la PR42.

Il est important de s'adresser à un spécialiste de la technique roulée. La résistance thermique obtenue avec ce matériau enduit de plâtre à l'intérieur et à l'extérieur est de $R = 2,87 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$ soit : $U_p = 0,33 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ pour la brique Monomur de 37,5 cm. La valeur donnée par la RT 2005 actuellement en vigueur est de $U_p = 0,45 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$.

Le traitement des ponts thermiques d'about de plancher est très performant puisqu'il permet de réduire la valeur du coefficient de déperdition linéique à 0,17 W/K.

La résistance mécanique de ce matériau est de 8 MPa soit 80 kg/cm². En termes d'isolation phonique $R_w(C; C_{tr}) = 43 \text{ dB}$ (0 ;-2), et sa diffusivité thermique est de $2,10 \cdot 10^7 \text{ m}^2/\text{s}$. La diffusivité thermique rend compte de la variation de température provoquée en un point à l'intérieur du matériau par une variation de la température à la surface. C'est en fait le rapport entre la conductivité et l'inertie thermiques ; la diffusivité représente la vitesse à laquelle la chaleur se propage par conduction : plus elle est faible, plus la chaleur mettra du temps à traverser l'épaisseur du matériau. Plus elle est grande, plus la température à l'intérieur du matériau sera sensible aux changements de température à la surface. La diffusivité thermique du bloc de terre cuite est la plus faible des éléments de construction : il sera peu sensible aux variations de la température extérieure.

Régions froides et choix des briques

Une nouvelle brique est désormais disponible pour construire des maisons énergie zéro ou énergie positive pour les régions froides : la PR42. Cette brique contient un isolant intégré, la perlite. Elle permet d'atteindre des $U_{bat} = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$. Elle sera disponible en France mi-2008 et l'est en Allemagne depuis quelque temps, où elle a fait ses preuves.

Vous pourrez obtenir une construction BBC avec ce type de produit. Pour la zone climatique semi-continental, il faudra envisager la brique en 50 cm voire la PR42,5 pour obtenir une maison Effinergie, voire passive.

les coûts

En termes de coût, son prix est correct : on comptera de 85 à 95 € HT/m² posé en 37,5 cm, beaucoup plus pour la 50 cm ainsi que

pour la PR42, qui sont encore peu usitées. Le prix tient compte de divers critères et le prix donné peut varier en fonction des régions et de la difficulté de la maison en termes architectural. Il est donné à titre indicatif.

La mise en œuvre

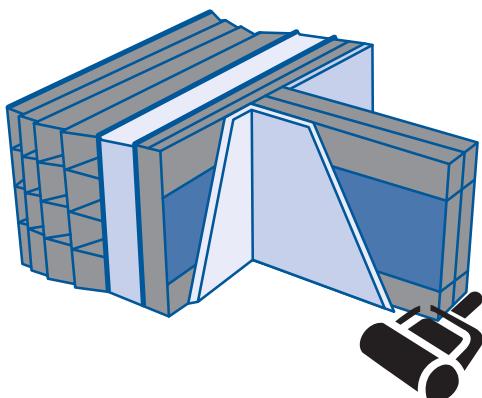
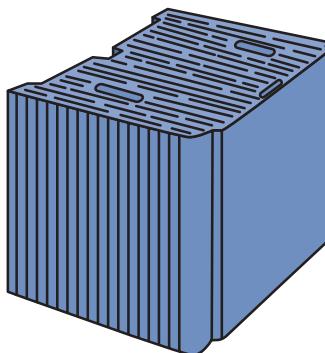
La pose de ce type de brique se fait par mortier-colle et joints de deux à trois millimètres.

La brique est légère et la quantité de mortier est réduite à environ 300 kg par chantier. La quantité d'eau nécessaire est également réduite de 95 %.

La rénovation en Monomur, un cas difficile

En rénovation, l'utilisation de ce type de technologie est difficile, d'abord pour un problème de compatibilité brique-agglo. D'autre part, en cas de construction brique à l'origine, l'utilisation de tels matériaux aurait une efficacité moindre en rénovation puisque les briques déjà posées ne bénéficient pas de cette technologie.

5.2 – Exemples de briques Monomur



Le tout-en-brique

Il existe un système exclusif de construction appelé Calibric®. Ce système fabriqué par Terrealstructure répond à une exigence des professionnels de la construction avec une construction tout en brique, y compris les coffrets de volet roulant par exemple. L'uniformité de cette construction au niveau matériau évite de fait les fissures dues au travail de matériaux différents et permet un accroissement des performances thermiques grâce à la réduction des ponts thermiques. Les professionnels apprécieront le gain de temps et surtout l'économie de mortier assurant la jointure entre les briques. En effet, le constructeur estime que seulement 200 kg de mortier sont nécessaires pour construire une maison suivant cette méthode contre 6 tonnes pour une maison classique, d'où une économie substantielle de matériaux mais aussi d'eau¹.

1. Pour plus d'informations, consultez les sites www.terreal.com, www.monomur.com ou encore www.wienerberger.fr

Les bonnes combinaisons

Les huisseries. La bonne solution : un triple vitrage ou un double vitrage ITR ou VIR. Votre fenêtre devra avoir un U_w de $1,3 \text{ Wm}^2\text{K}^{-1}$ maximum.

La ventilation. Privilégier une ventilation mécanique double flux avec rendement de 70 %. Ce choix est nécessaire pour obtenir une maison BBC. Vous pourrez opter pour une VMC double flux haut rendement voire couplée à un puits canadien pour obtenir une maison Effinergie 35 kWEp/m²/an voire passive 15 kWEp/m²/an.

Le chauffage. Il dépendra de votre région. Si votre maison est située au nord d'une ligne traversant le pays d'est en ouest en passant par Lyon, il est préférable d'envisager un chauffage voire une production d'eau chaude sanitaire par pompe à chaleur et une production d'électricité par mise en place de panneaux photovoltaïques. On envisagera une production de 2 à 3 kWc. Dans le cas où votre maison est située au sud de cette ligne, plus vous vous rapprochez du climat méditerranéen, moins vous avez besoin de chauffage et plus vous aurez besoin de rafraîchissement. Vous envisagerez alors une VMC thermodynamique couplée à un puits canadien ou provençal vous assurant le préchauffage de l'air l'hiver et le rafraîchissement naturel l'été. Vous envisagerez une production d'eau chaude sanitaire par un système solaire thermique et la production d'électricité par panneaux photovoltaïques. La production sera de 2 à 3 kWc.

L'isolation du toit. Plusieurs types d'isolation conviennent. Vous avez, bien entendu, l'option de la charpente classique avec isolation des rampants ou du grenier si vous ne souhaitez pas utiliser les combles. La mise en place d'un écran de sous-toiture n'est pas obligatoire.

Vous placerez les liteaux perpendiculairement aux panneaux ; ceux-ci seront placés en fonction des pureaux des tuiles.

Pour la pose des éléments de couverture, vous respecterez les DTU en vigueur tels que le 40.211 pour la tuile.

À l'intérieur vous aurez une finition plaque de plâtre ignifugée que vous pourrez décorer comme vous le souhaitez.

Fig. 5.3

Immeuble
d'habitations construit
en briques Monomur



Fig. 5.4 et Fig. 5.5

Maisons individuelles
construites en briques
Monomur



© Wienberger

Le béton cellulaire

La thermopierre, encore appelée béton cellulaire, est un produit naturel composé essentiellement de chaux, de ciment et de sable de quartz siliceux, de 1 % de gypse auquel on ajoute de la poudre d'aluminium et d'eau. Les blocs sont obtenus par moulage autoclave, ce produit minéral est donc neutre et totalement recyclable. Un bloc est composé de 20 % de matière et de 80 % d'air. La masse volumique du produit se situe entre 350 et 550 kg/m³.

Fig. 5.6



Des avantages indéniables

La chaux va réagir au contact de la poudre d'aluminium présente dans une proportion de 0,05 % en dégageant de l'hydrogène, gaz qui va créer les pores. Après durcissement, on obtient un matériau assez léger d'une densité de 400 kg/m³ et contenant des milliers de bulles d'air piégées (jusqu'à 80 % du volume) lui conférant d'excellentes caractéristiques thermiques. De plus, l'agent d'expansion provenant du recyclage après liaison chimique avec la chaux forme des alumino-silicates de calcium non toxiques.

Le béton cellulaire ne contient ni COV ni fibre et il est ultraléger. De plus, il présente une résistance au feu exceptionnelle (supérieure à 6 h).

L'isolation phonique prise en compte dans la démarche HQE® est de $R_w = 49$ dB.

La radioactivité du béton cellulaire est faible et constitue une protection contre les champs électromagnétiques.

Le béton cellulaire ne nécessite qu'un enduit extérieur pour le rendre totalement imperméable. Ses performances acoustiques sont sensiblement identiques à celles du bloc béton ou de la brique.

Ce produit est beaucoup plus léger que les deux précédents mais il supporte une charge de 11,5 t ; il se révèle donc être aussi résistant que ceux-ci.

Béton cellulaire et isolation

La thermopierre¹ possède une inertie thermique importante et permet une correction efficace des ponts thermiques.

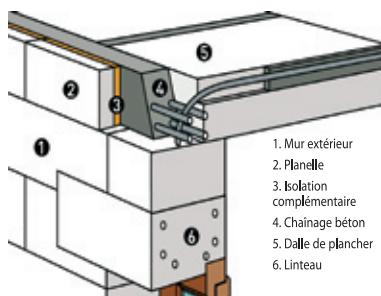
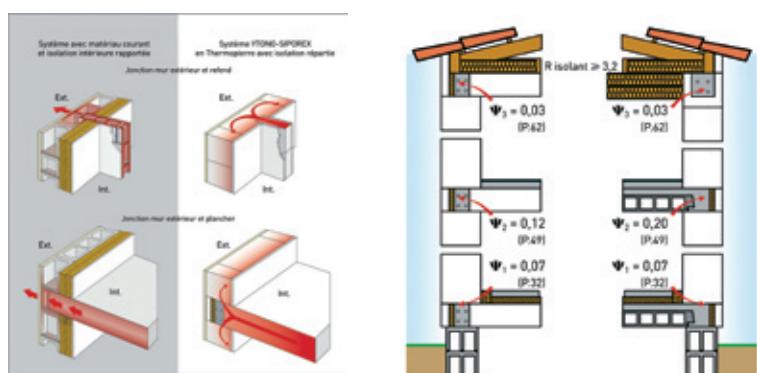
La résistance thermique est bien entendu fonction de l'épaisseur du bloc. Pour un bloc d'une épaisseur de 37,5 cm, identique à celle de la

1. La thermopierre est également le nom donné au béton cellulaire.

brique Monomur terre cuite étudiée ci-dessus, on notera $R = 3,07 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ avec $U_p = 0,33 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$.

La principale qualité de ce matériau est qu'il assure une hygrorégulation permanente de la maison, c'est-à-dire qu'il capte l'humidité intérieure pour la libérer vers l'extérieur. Il ne nécessite pas de doublage intérieur puisque c'est un matériau auto-isolant, ce qui compense son coût un peu élevé.

**Fig. 5.7 et
Fig. 5.8 –
Caractéristiques
thermiques du
béton cellulaire**



**Fig. 5.8
Traitement des ponts
thermiques**

© Xella

Mise en œuvre

Le fabricant de ce produit a lui aussi développé un système constructif complet.

L'assemblage se réalise à l'aide de mortier-colle. Son inconvénient majeur est qu'il demande une qualité de pose irréprochable et ne souffre aucune imprécision.

Lorsque la technique de pose est maîtrisée, vous obtenez des gains de temps de réalisation importants.

Structure béton isolé

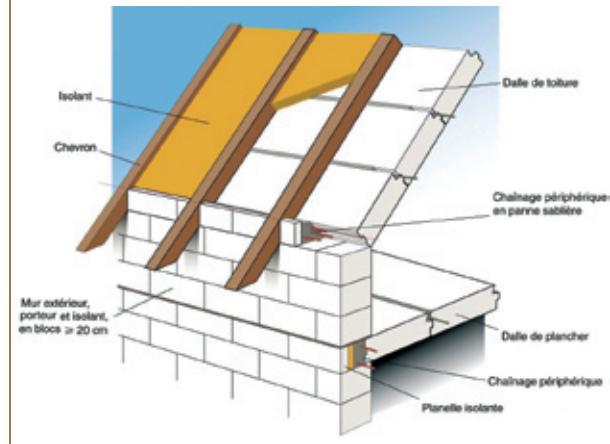
Ce système constructif est composé de deux parois de coffrage isolant en PSE (polystyrène expansé de haute densité) ou Néopor (polystyrène graphité), tout dépend de la marque du produit choisi, reliées par des entretoises métalliques renforcées dans leur partie latérale par des fers plats ou des entretoises plastiques. C'est ce que l'on appelle un système double isolation intérieur-extérieur. Un tel système permet de couler le béton à l'intérieur de ce coffrage jusqu'à une hauteur de 3,6 m en une seule fois.

Ce type de mur est totalement parasympathique et a une épaisseur variable, comprise entre 0,25 m et 0,45 m, avec une très bonne isolation phonique et thermique. Outre ses qualités exceptionnelles en termes d'isolation thermique, ce mur assure une très bonne isolation phonique ainsi qu'un effet coupe-feu d'une durée variable de 90 à 120 min en fonction de l'épaisseur du mur et de sa composition. Il possède de fait une isolation par l'intérieur et l'extérieur avec un coefficient U assez bas donc une résistance thermique élevée, supprimant ainsi tous les ponts thermiques et assurant une protection totale du bâti. Ce type de construction permet des constructions d'une hauteur importante, jusqu'à dix étages voire plus, et donne la possibilité de réaliser des sous-sols enterrés. Il possède entre autres avantages celui d'être rapide à la pose puisque le gros œuvre peut être réalisé en moins de 10 min par mètre carré, monté, coulé et bien sûr très bien isolé. Les modules sont totalement manutendables et légers. Vous pouvez construire avec le système constructif complet, puisque vous disposez de tous les éléments pour les murs comme pour les planchers et la toiture.

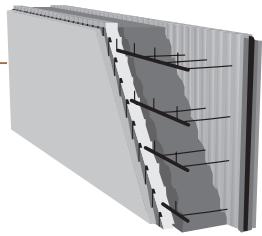
Vous pouvez bien entendu construire avec ce type de produit partout en France mais il est tout particulièrement adapté aux régions les plus froides ainsi qu'en montagne.

Il est difficile de donner des valeurs concernant la résistance thermique de ces produits ; on partira sur une moyenne de $U_{bat} = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ donc une résistance thermique de $R = 5 \text{ m}^2\text{.K/W}$.

Fig. 5.9



© Xella

Fig. 5.10 – Exemple de structure

La structure bois

Il existe de nombreuses possibilités en matière de structure bois. Vous pouvez opter pour une maison avec des murs en madriers de bois massif, des murs en madriers lamellés collés, ces derniers étant peu adaptés voire pas du tout à un habitat urbain, et enfin pour des maisons à ossature bois, très bien adaptées au milieu urbain puisque d'extérieur elles sont d'aspect identique à une maison classique. Les fondations de ces maisons sont en béton.

Les avantages résident dans le fait que le bois est un matériau sain ne générant ni radon, ni électricité statique. Le bois se protège de façon naturelle puisqu'il contient des polyphénols d'origine végétale qui ont un effet désinfectant. C'est aussi un excellent régulateur thermique et hygrométrique, régulant l'humidité ambiante.

L'un des nombreux avantages de la structure bois est sa légèreté. En outre elle résiste très bien à la traction et à la compression dans le sens de l'axe de l'arbre. Elle possède des propriétés isolantes importantes ce qui permet de faire des murs porteurs moins épais. Les maisons sont donc plus légères qu'en construction traditionnelle, avec des fondations moins importantes.

Autre avantage notable, la rapidité de construction. En effet, les éléments sont fabriqués en usine, les huisseries et les portes sont directement intégrées sur la structure et les boîtes et gainages sont posés en usine afin de préserver l'étanchéité de l'ensemble et éviter les ponts thermiques. La fabrication en usine prend moins d'un mois et votre maison est livrée et construite (livraison clés en main) en moins de quatre mois.

Le bois et l'isolation

Le bois est un très bon isolant, hiver comme été, et participe de fait à créer l'inertie thermique nécessaire tant en hiver, pour garder la chaleur à l'intérieur, qu'en été, pour conserver la fraîcheur. Il diminue de manière conséquente la consommation de chauffage en hiver.

Ce type de structure confère au mur un $U_{bat} = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ soit une résistance thermique $R = 5 \text{ m}^2\text{.K/W}$ de $R =$ sachant que le U_{bat} de référence RT 2005 est de $U_{bat} < ou = 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ce type de structure répond donc bien aux exigences de la RT 2005.

En matière d'isolation, le standard est la laine minérale de 100 mm pour le plancher, 200 mm avec pare-vapeur au plafond et 100 mm pour les murs.

Mise en garde

Il faut être extrêmement attentif à la provenance des produits, à leur traitement et, surtout, voir si le produit proposé est assez sec. Si tel n'est pas le cas, il va se déformer et travailler en séchant et vous risqueriez d'avoir certains désagréments.

Ce type de maisons connaît un succès très important en ce moment. De fait, il y a de plus en plus de constructeurs de maisons ossatures bois avec des qualités inégales en termes de produit. Nous ne parlerons ici que des maisons en ossature bois. Je n'évoquerai pas la construction de maisons en bois massif madrier ou rondin, plus adaptées aux zones de montagne (pour les chalets) ou de campagne.

Vérifiez que votre construction ossature bois suit bien la norme NF P 21-204-1, DTU 31.2 construction de maisons et bâtiments ossature bois.

Nous allons détailler deux formes de construction ossature bois, l'ossature plate-forme et l'ossature poteaux-poutres.



Fig. 5.11

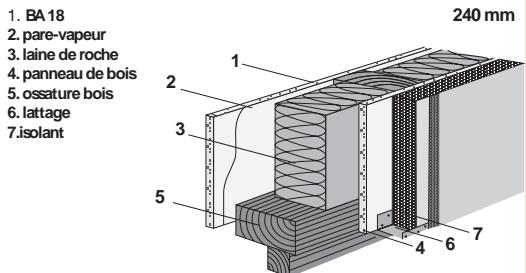


Fig. 5.12 – Ossature bois crépis extérieur

L'ossature plate-forme

La méthode de construction ossature plate-forme est une méthode très répandue pour la construction de maisons individuelles et des petits bâtiments en général. Ce type de construction est rapide et économique dans la mesure où la majorité du travail peut être effectuée en atelier en préfabrication et les éléments livrés directement sur le chantier. Cela évite de faire appel à certains corps de métier et limite les déchets et les risques de pollution. Les montants de

l'ossature correspondent à une longueur équivalente à la hauteur d'un étage – la section minimum des pièces de bois est de 100 × 36 mm – et sont espacés de 40 à 60 cm et fixés sur des lisses basses et hautes par clouage, contreventés par un panneau de bois. Le plancher du premier étage sert de plate-forme pour la construction de l'étage suivant. Les étages s'empilent les uns sur les autres.

De l'intérieur vers l'extérieur, la paroi (1) est une plaque de finition sur laquelle vous appliquerez une peinture, un papier peint ou encore un crépi. Choisissez un BA18 ou une plaque permettant une accroche supportant un certain poids comme une étagère ou encore un tableau. Ensuite vient le pare-vapeur (2), puis une lame d'air permettant le passage des gaines et tuyaux. La laine de roche (3) est ensuite placée entre les éléments de l'ossature bois (4). En (5) un panneau de bois OSB ou une plaque de Fermacell assure le contreventement du mur. L'étanchéité à la pluie et au vent est assurée par un pare-pluie, disposé devant le voile de contreventement. Un lattage (6) est fixé sur le voile au droit des montants. La lame d'air entre le bardage et l'isolant de 50 mm (7) assure la circulation d'air supprimant de fait la condensation au dos du bardage.

L'ossature poteaux-poutres

La construction ossature bois poteaux-poutre permet une grande souplesse au niveau architectural. Elle est destinée à des constructions de bâtiments de moyenne comme de grande dimension plutôt haut de gamme. Il s'agit en fait d'une structure porteuse composée de poteaux verticaux et de poutres horizontales ou inclinées de grandes sections en bois massif ou en lamellé-collé, placés à intervalles réguliers, permettant ainsi de libérer de grands volumes. Libre à vous ensuite de

remplir les cavités par des parois isolantes, des fenêtres, des portes ou de laisser les espaces communiquer entre eux à l'intérieur du bâtiment. Ce choix est cependant peu propice à une bonne gestion énergétique. Comme vous pouvez le constater sur la photo, les poteaux supportent les poutres qui elles-mêmes vont soutenir les planchers. L'ensemble des charges sera ensuite transféré aux fondations. Par ailleurs les parois murales ne sont pas porteuses mais peuvent contribuer au contreventement de la maison, et donc lui servir de protection. Par conséquent ne négligez pas leur étude notamment au niveau thermique et phonique.

Au niveau de la charpente, optez pour une charpente classique bien isolée avec une laine minérale type laine de roche ou encore une laine de bois pour rester en cohérence avec le choix de la structure (l'épaisseur choisie vous permettra d'atteindre une résistance thermique de 8).

Optez pour une ventilation mécanique double flux¹ avec un rendement de 70 %. Ce choix est nécessaire pour obtenir une maison BBC. Vous pourrez opter pour une VMC double flux haut rendement, voire associée à un puits canadien pour obtenir une maison Effinergie 35 kWep/m²/an voire passive 15 kWep/m²/an. Vous choisirez une énergie renouvelable pour la production de chauffage comme d'eau chaude sanitaire voire une production d'électricité grâce à des cellules photovoltaïques.

1. Voir p. 38-42

Le Blokisol (Eurofab)

Ce type de produit ne bénéficie pas encore d'une grande notoriété. Il s'agit d'un système de construction modulaire composé de deux isolants haute densité en Néopor de 7 cm d'épaisseur. Le Néopor est un polystyrène expansé dans lequel on a ajouté de petits éléments de graphite qui piègent une grande partie du rayonnement thermique et qui confèrent au système une plus grande rigidité que le polystyrène seul, ainsi qu'une moindre fragilité.

Cet isolant forme un bloc, puisque les panneaux sont reliés entre eux par des entretoises en polypropylène chargées de fibres empêchant le soulèvement des blocs au coulage. L'écartement entre les panneaux est de 15 cm, et les faces extérieures des blocs sont composées d'un réseau vertical en queue d'aronde.

Le Blokisol comporte une pluralité de tenons sur la partie supérieure du bloc et une pluralité de mortaises sur la partie inférieure, et il ne nécessite pas de doublage supplémentaire, que ce soit à l'intérieur ou à l'extérieur.

Ce produit se compose de tous les éléments nécessaires à la construction d'un bâtiment (pièces droites, d'angles rentrants ou sortants, refends, linteaux, coffrages de dalle, etc.), destinés à la réalisation de murs par empilage à sec et remplissage de béton. L'épaisseur totale du mur non enduit est de 29 cm.

Ce produit est adapté à la construction de murs porteurs en béton armé. Il s'adapte donc à toute forme de construction, aussi bien maisons individuelles, collectifs plus ou moins importants, immeubles d'habitation, bâtiments industriels ou agricoles, que soubassement de maisons à ossature bois ou autre.

Ce produit répond aux nouvelles préoccupations environnementales dans la mesure où il est fabriqué à partir de naphta, déchet dérivé de l'industrie pétrolière et recyclable à l'infini, permettant de construire des bâtiments très peu « énergivores » voire pas du tout. Il permet l'élimination des ponts thermiques en construction neuve grâce à sa double isolation.

Un atout pour les autoconstructeurs

Vous aurez une isolation uniforme sur l'ensemble de votre construction, pas de points d'humidité au niveau des tableaux, pas plus qu'en périphérie de dalle. La mise en œuvre de ce produit est aisée, tout un chacun peut construire sa maison, et si l'on fait appel à une main-d'œuvre, ce sera localement.

De plus, le Blokisol est relativement léger et de fait préserve la santé de ceux qui l'utilisent : chaque modèle pèse un peu plus de 5 kg.

Ce produit offre de nombreux avantages car il ne nécessite pas la réalisation de coffrages sur chantier, avec les risques de pollution liés à l'utilisation de certaines huiles de coffrage que cela implique. La découpe se fera avec un fil chaud afin de limiter la pollution liée aux déchets de découpe. Une fois les murs montés, vous procéderez à chaque étage au coulage du béton.

Ce produit permet de construire des bâtiments hauts, ce qui n'est pas possible avec des briques Monomurs ou du béton cellulaire.

De plus, il permet de construire des bâtiments passifs puisque le $U_p = 0,206 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ soit une résistance thermique $R = 4,85 \text{ m}^2\text{.KW}^{-1}$.

Ces matériaux subissent un traitement d'ignifugation conforme à la norme DIN 4102-B1.

Quel climat ?

Ce type de construction possède de très nombreux avantages, comme nous l'avons vu ci-dessus, mais aussi un inconvénient majeur à mes yeux pour certaines régions de France comme le Sud. La brique ou la thermopierre y sont préférables pour des questions de « respirabilité » et de déphasage thermique. Ces produits sont très isolants, tant du froid que du chaud.

Les bonnes compositions

Avec ce choix, il est conseillé d'opter pour une ventilation mécanique double flux haut rendement. Vous obtiendrez une maison Effinergie avec ce type de produit et l'utilisation d'une énergie renouvelable pour la production de chauffage comme d'eau chaude sanitaire voire, pour aller plus loin, des cellules photovoltaïques afin d'obtenir une production électrique. Vous pourrez coupler VMC et puits canadien pour obtenir une maison passive 15 kWEp/m²/an. Le coût d'un puits canadien avec un by-pass motorisé pour une maison de 120 m² est d'environ 4 000 € travaux de génie civil compris.

En conclusion

De nombreuses structures sont présentes sur le marché. Votre choix dépendra de vos envies mais aussi de l'endroit où vous habitez car les exigences en termes d'inertie thermique ou d'isolation ne sont pas les mêmes suivant la localisation.

Une maison confortable est une maison bien isolée où la température ne varie quasiment pas entre l'hiver et l'été et où le taux d'humidité est suffisant tout en n'étant pas excessif, et ce afin d'éviter le développement de moisissures, phénomène que l'on retrouve dans près de 40 % des logements en France.

En ce qui concerne les fondations, je vous laisse libre choix ; celui-ci peut être guidé par la nature du terrain où vous construisez ainsi que par sa localisation. Par ailleurs, le choix d'un radier ou d'un vide-sanitaire est également personnel. En revanche, faites en sorte d'isoler votre maison du sol avec un isolant adapté¹.

1. Le choix du matériau sera aussi fonction de l'isolation pour laquelle vous allez opter et réciproquement : reportez-vous au chapitre suivant pour connaître les capacités des différents types d'isolants (p. 73).

	Efficacité énergétique	Climat adapté	Coûts HT fournitures et pose	Facilité de mise en œuvre
Bloc Béton sans isolation	Faible	Partout si isolation par l'extérieur	44 €/m ²	Facile
Béton cellulaire	Très bon	Toute la France	80 €/m ²	Demande une formation technique roulée
Structure bois 130 mm avec OSB sans isolant	Très bon, dépend de l'isolant et de son épaisseur	Partout sauf climat méditerranéen	58 €/m ² (ajoutez l'isolant)	Facile mais demande une formation
Mur bois lamellé-collé	Très bon	Partout sauf climat méditerranéen	75 €/m ²	Facile mais demande une formation
Brique Monomur 37,5	Très bon. Envisagez le 50 cm ou PR42 pour les régions froides	Toute la France	80 €/m ²	Demande une formation technique roulée
Blokisol isolation ext. et int.	Excellent	Région froide	Difficile à évaluer	Facile

L'isolation

<6

L'isolation¹ est un des éléments clés du confort d'une maison, que ce soit pour lutter contre le froid en hiver ou le chaud en été.

Est-il rentable d'isoler ? Un bon système d'isolation peut vous faire économiser de l'argent, vous permettre de réduire votre consommation d'énergie et rendre votre maison plus confortable. Rappelez-vous toutefois que l'installation est habituellement ce qui coûte le plus cher au moment d'effectuer les travaux. Les conditions climatiques locales ont aussi une incidence sur la rentabilité d'une telle opération.

Vous devrez évaluer les coûts ainsi que les pertes et les gains de chaleur de toutes les options possibles. Puis, passez en revue tous les détails de manière à bien maîtriser le mouvement de l'humidité. Vous pourrez alors choisir la bonne technique d'isolation. Dans le doute, consultez un spécialiste.

1. L'isolation contribue au traitement des cibles 8 et 9 de la démarche HQE : confort hygrothermique et confort acoustique.

Le coefficient et la résistance de conductivité thermique

L'isolant doit contribuer à garder la chaleur à l'intérieur de votre maison en hiver et la fraîcheur l'été. Le matériau utilisé doit donc par définition être un très mauvais conducteur.

Le coefficient de conductivité thermique est donné par la lettre lambda (λ), sa valeur s'exprime en watts par mètre-kelvin. C'est en fait le flux de chaleur traversant une épaisseur d'1 m de matériau par seconde et par mètre carré pour un écart de 1 °C.

Un matériau est considéré comme isolant s'il a un $\lambda < 0,065 \text{ W/m.K}$. Le meilleur isolant connu est donc l'air sec et immobile. Un isolant thermique est donc un matériau composé d'une grande quantité de cellules remplies d'air ou de gaz statique emprisonnées dans un réseau de fibres serrées (laines animales ou végétales) ou dans des bulles de matière synthétique (polystyrène, polyuréthane, etc.).

La résistance thermique appelée R est donc le résultat de : l'épaisseur (en mètres)/la conductivité thermique λ (lambda) du matériau choisi. Comme obligé par la RT 2005, R doit figurer sur les étiquettes des produits isolants. Plus la valeur de R sera élevée, meilleure sera l'isolation.

		Maison BBC 50 kWh/m ² /an pour le chauffage	Maison Effinergie ¹ 35 kWh/m ² /an pour le chauffage	Maison passive 15 kWh/m ² /an pour le chauffage
Isolation de toit	R thermique m ² .KW ⁻¹	6,5	8	10
Isolation de dalle	R thermique m ² .KW ⁻¹	3,5	5	6,5
Isolation de mur	R thermique m ² .KW ⁻¹	3,5	5	6,5
Huisserie U _w Wm ⁻² K ⁻¹		1,4	1,1	0,8
Ventilation		Double flux rendement 70 %	Double flux haut rendement 90 %	Double flux haut rendement 90 % couplé à un puits canadien
Étanchéité à l'air		Bonne	Très bonne	Renforcée

1. Le surcoût généré par la construction d'une maison Effinergie comme passive n'est pas négligeable. On estime que le retour sur investissement d'une construction Effinergie comme passive est de 10 à 12 ans.

L'enveloppe

L'enveloppe est sans aucun doute la partie de la maison à laquelle vous devez le plus réfléchir car il sera ensuite très difficile de la modifier. Grâce à son inertie, vous réduirez vos besoins en chauffage. Il est donc très important de choisir les matériaux en fonction du résultat que vous voulez obtenir. Et surtout, ne cherchez pas à faire d'économies par rapport au résultat que vous souhaitez.

Si vous faites le choix pour votre structure de construire en brique Monomur, béton cellulaire, mur en bois massif ou ossature bois isolée, le pouvoir isolant du mur sera réparti sur toute son épaisseur, ce

qui ne sera pas le cas lorsque vous ferez le choix d'une isolation par l'extérieur. Dans ce cas, vous profiterez de l'inertie thermique du bâtiment et supprimerez les ponts thermiques. De plus, cela vous permettra de bénéficier du déphasage thermique du matériau et de réguler le taux d'humidité, donc d'éviter les problèmes de condensation. Certes, celles-ci peuvent vous apparaître trop chères au regard de votre budget, mais vous bénéficierez d'un crédit d'impôts² voire de diverses subventions régionales, locales, etc.

2. Le plus du crédit d'impôts : les matériaux de construction isolants permettent de bénéficier d'un crédit d'impôts. La brique Monomur entre dans ces considérations, ainsi, vous bénéficiez d'un crédit d'une valeur de 40 % (pour tout achat effectué après le 1^{er} janvier 2006).

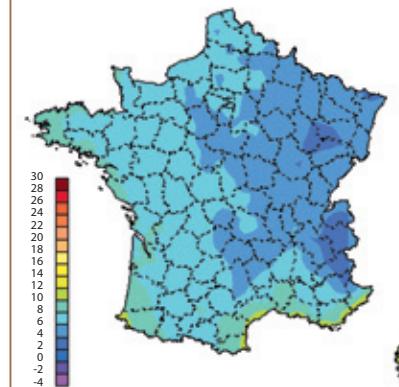
Températures hivernales et importance de l'isolation !

La figure 6.1 donne à titre indicatif les températures moyennes pour le mois de janvier 2008. Ces types de carte sont assez similaires d'une année sur l'autre, aussi, en fonction de votre région et des degrés recensés, n'hésitez pas à adapter votre isolation !

Si un choix s'impose à vous pour des raisons de budget, apportez un soin particulier à l'enveloppe et l'isolation, que vous ne pourrez plus modifier par la suite. Si votre enveloppe est performante, vous ne devriez plus avoir besoin de trop d'énergie pour la chauffer et/ou la rafraîchir.

On estime les besoins d'une maison telle que celle que vous allez construire à 30 W/m².

Fig. 6.1 – Températures (variation en °C) et importance de l'isolation



Choisir son isolant

Aujourd'hui, les isolants proposés sur le marché répondent aux exigences de la RT 2005.

Il est important de choisir son isolant en fonction de plusieurs critères :

- le coefficient de conductivité thermique ;
- la résistance à la compression ;
- la capacité d'absorption de l'eau ;
- la résistance au feu ;
- la classe de matériau.

Nous allons voir comment choisir son isolant en fonction de ces critères, mais, avant tout, nous soulignerons l'importance d'opter pour un isolant certifié.

La certification

**Fig. 6.2 –
Exemple de
marquage**



Lorsque vous choisissez votre produit, assurez-vous tout d'abord de son marquage CE, obligatoire depuis 2003. Ensuite, deux certifications s'imposent, la certification Acermi, qui concerne les isolants, et la certification NF ou CSTBat, qui concerne les produits destinés à l'isolation comme la brique Monomur ou le béton cellulaire.

Ces marquages garantissent l'exactitude des informations données par le fabricant et valident les caractéristiques techniques annoncées.

1. Les isolants donnant droit à un crédit d'impôts doivent répondre à ces

conditions :

$R \geq 2,8 \text{ m}^2 \text{ °K/W}$ pour les planchers bas sur sous-sol, sur vide sanitaire ou sur passage ouvert, les murs en façade ou en pignon ; $\geq 5 \text{ m}^2 \text{ °K/W}$ pour les planchers de combles, les rampants de toitures, les plafonds de combles ;

$R \geq 3 \text{ m}^2 \text{ °K/W}$ pour les toitures terrasses.

La valeur de ce crédit est de 40 % pour tout matériel acheté après le 1^{er} janvier 2006.

La certification et le DPE

Attention, si votre isolant ou votre produit d'isolation ne comporte aucune certification, il risque de dévaluer votre diagnostic de performance énergétique (DPE). En effet, les données techniques retenues peuvent fausser votre bilan et engendrer une dévaluation et une pénalisation pouvant aller jusqu'à 15 % et. Nous rappelons que le DPE est obligatoire depuis le 1^{er} juillet 2007.

Quel isolant pour quel usage ?¹

Tous les isolants ne sont pas adaptés à toutes les utilisations. Pour choisir au mieux votre isolant, voici un tableau les répertoriant par conditionnement et usage.

Synthèse des caractéristiques des différents isolants

Type d'isolant	Conditionnement	Usage
Laines minérales Laines végétales	Rouleaux Panneaux	Combles aménagés ou non, chevrons, toitures, cloisons, contre-cloisons, planchers, dalles flottantes, panneaux sandwiches, complexes de doublage, bardages
	Flocage	Combles non aménagés, endroits difficilement accessibles et fermés
Perlite Flocons de cellulose	Vrac	Combles non aménagés et solive avec pose d'un plancher
Laine de bois Fibre de bois, liège Fibre de coco Cellulose	Panneaux	Isolation de sols, murs, cloisons, contre-cloisons, complexes de doublage, planchers
Polystyrène expansé (PSE)	Panneaux	Murs, planchers, sols, combles habitables, isolation extérieure, panneaux de toiture, toitures terrasses, dallages, chapes flottantes
	Entrevois	Planchers à entrevois, treillis, poutrelles béton
Polystyrène extrudé (XPS)	Panneaux	Toitures, toitures terrasses, murs, isolation extérieure, combles habitables, sols, terre-pleins, murs, complexe isolant extérieur
Polyuréthane (PUR)	Panneaux	Toitures, toitures terrasses, doublage des murs, planchers, sols, isolation extérieure
	Bombe	Tous travaux peu accessibles en complément des autres isolants
Verre cellulaire	Panneaux, blocs	Toitures terrasses et isolation verticale sous-basement avec le sol
Bloc coffrant Néopor	Bloc	Structure de la maison ; Complexe d'isolation des fondations extérieures-intérieures

Isolation du sous-sol, du sol et du toit

Isolation du sous-sol

Les pertes thermiques par le sous-sol sont évaluées à 7 % en moyenne mais cela peut aller bien au-delà, jusqu'à atteindre les 20 % dans certains cas. Le sous-sol est le siège de pertes de chaleur en raison de sa surface étendue et non isolée, au-dessus comme au-dessous du sol. Le sol est un très mauvais isolant car sa température entre la surface et – 2 m de profondeur varie selon la température extérieure. En dessous de – 2 m, on considérera que la température est quasi constante sur l'année, en plaine. Cela n'est pas vrai en altitude où le sol peut geler à des profondeurs plus importantes.

Il est donc important d'envisager l'isolation de votre sol dès la conception de votre maison. Celle-ci sera fonction du choix que vous ferez pour votre construction, soit terre-plein, soit vide sanitaire. Il est important d'envisager ce type d'isolation dès le choix de vos fondations.

Les murs du sous-sol sont importants, car ils doivent faire obstacle à d'importants mouvements d'humidité provenant tant de l'intérieur que de l'extérieur de la maison.

La méthode de prédilection consiste à isoler le mur par l'extérieur au moyen de panneaux rigides convenant à la mise en œuvre en sous-sol, tels que le polystyrène extrudé ou la fibre de verre rigide.

Il est utile d'isoler l'extérieur du sous-sol et de mettre en place un revêtement de protection contre l'humidité ainsi qu'un tuyau de drainage à la base des fondations. Les panneaux rigides de fibre de verre ou de laine minérale servent de couche de drainage, éloignant des fondations les eaux de ruissellement et les eaux souterraines.

Les murs du sous-sol sont maintenus à température ambiante pour protéger la structure, réduire le risque de condensation à l'intérieur et accroître le confort.

Isolation du sol

Sur terre-plein/sous chape

Si vous êtes en présence d'une dalle en béton traditionnelle, vous pourrez vous isoler du froid et de l'humidité. Vous poserez sur le sol une ou deux couches de panneaux rigides d'isolant puis vous coulerez une dalle béton en ayant pris soin de dérouler un film plastique pour protéger l'isolant.

Coulez une chape de béton traditionnelle. Vous répartirez un hérisson de cailloux sur lequel vous étalerez 2 cm de sable puis un film polyéthylène. Ensuite vous poserez, en périphérie de dalle et sur une largeur de 1 m, une ou deux couches de panneaux d'isolant sur 4 cm d'épaisseur, puis un film polyéthylène sur l'ensemble et un treillis soudé. Enfin, vous coulerez le béton.

Sur vide sanitaire

Vide sanitaire accessible

Collez une ou deux couches de panneaux rigides si la surface est régulière ; si elle ne l'est pas, vous les visserez. Veillez à ce que le vide sanitaire soit bien ventilé pour éviter les risques d'humidité.

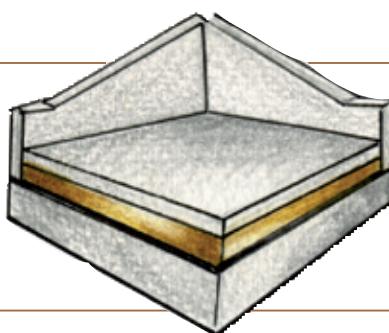
Vide sanitaire inaccessible

Lorsque le plancher houddis béton n'est pas constitué d'entrevois en polystyrène qui lui servent d'isolant, vous placerez des panneaux de polystyrène de 4 cm d'épaisseur au-dessus desquels vous coulerez une dalle béton.

Sur dalle

Collez des plaques de sol avec isolant résistant à la compression comme les PSE, XPS voire polyuréthane. Puis coulez une chape ou une dalle flottante, sur laquelle vous mettrez un revêtement de sol collé ou un mortier de scellement pour carrelage.

Fig. 6.3 – Isolation sur dalles



Isolation phonique

Sur dalle : assemblez par collage deux plaques de sol avec isolant thermoacoustique puis posez-les sur le sol avec ou sans râgréage par granulat. Cela permettra de diminuer de manière significative les bruits d'impact et les bruits aériens.

Isolation de toiture

L'isolation de toiture est extrêmement importante dans la mesure où 30 % des déperditions se font par le toit. La chaleur monte et si le toit n'est pas correctement isolé, ce sont de nombreux kilowattheures de chaleur qui s'échappent dans la nature et font augmenter votre facture énergétique.

Plusieurs possibilités s'offrent à vous, selon que vous souhaitez avoir des combles aménageables ou non.

La RT 2005 actuellement en vigueur exige une résistance thermique minimale de $R = 3,68 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$. Pour obtenir une performance appor-tant des économies d'énergies conséquentes, la résistance thermique minimale est de $R = 4,83 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$.

Méthodologie de calcul de l'épaisseur d'isolant nécessaire pour la toiture

Comme nous l'avons déjà indiqué, la RT 2005 en vigueur depuis le 1^{er} octobre 2006 exige une résistance thermique minimale de $R = 3,68 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$ en toiture. Il est bien évidemment intéressant d'aller au-delà de cette RT 2005, tout d'abord pour faire davantage d'économies mais aussi et surtout pour ne pas avoir à renouveler l'opération dans quelques années.

Pour ma part, je conseille de tendre vers une résistance thermique au niveau de la toiture de 6.

Le calcul pratique de l'épaisseur minimale de l'isolant (en mètres) : $e (\text{m}) = \lambda (\text{W}/\text{m.K}) \times R (\text{m}^2.\text{K}/\text{W})$, où λ = coefficient de conductivité thermique, valeur fournie par le fabricant. Plus ce coefficient est petit, meilleur est l'isolant.

Les toitures classiques

La pose du pare-vapeur

Lorsque vous posez le pare-vapeur, toujours au plafond, veillez à ce qu'il soit bien étanche, afin que l'air chaud et humide de la maison n'atteigne pas le vide sous toit, où c'est plus froid, et ne puisse pas causer de la condensation en hiver. Vérifiez les fuites d'air à la hauteur des plafonniers, de la partie supérieure des murs intérieurs et des ouvertures de passage comme les colonnes de ventilation.

Deux possibilités s'offrent à vous : aménager vos combles ou pas.

Les combles aménagés

Vous envisagerez une isolation des pans du toit entre les chevrons. On utilisera des panneaux semi-rigides ou des rouleaux pour les isolants type laine minérale (laine de verre ou laine de roche). Si votre toit est doté d'une sous-toiture, on placera l'isolant contre celle-ci. Pour éviter les problèmes de condensation et garantir une étanchéité à l'air, il est indispensable de poser un pare-vapeur du côté intérieur, en veillant à couvrir la totalité de cette sous-toiture, et ce afin d'éviter les ponts thermiques. On terminera par une finition intérieure type plaque de plâtre ou panneaux de bois.

Vous opérerez de la même manière avec les autres isolants, tels que les laines végétales (chanvre, coton, etc.), les laines de bois, les laines animales ou encore des panneaux de cellulose, un peu plus chers à l'achat. Pour les isolants type polystyrène, polyuréthane ou autres, appelés isolants synthétiques, l'écran d'étanchéité type pare-vapeur n'est pas nécessaire dans la mesure où la matière isolante est déjà étanche. En revanche on veillera à coller des bandes d'étanchéité ou à injecter de la mousse isolante entre les joints des panneaux ou éléments de charpente pour éviter les ponts thermiques.

Lorsque les chevrons sont réguliers, vous avez la possibilité d'isoler entre et sous les chevrons, ou bien entre et contre les chevrons, ou tout simplement sous les chevrons.

Si la hauteur de vos chevrons est égale ou supérieure à 8 cm, une couche d'isolant type laine minérale, végétale ou animale est calée entre les chevrons ou sous les chevrons par agrafage, puis une seconde couche est déroulée ou placée en transversal et fixée aux chevrons par une ossature.

Si votre charpente est composée de chevrons et de contre-chevrons, vous calerez une couche de laine entre les chevrons puis vous agrafez une seconde couche entre les contre-chevrons.

Vous déroulerez la laine en une couche sous les chevrons puis vous fixerez une ossature métallique tous les 50 cm.

Lorsque les chevrons sont irréguliers, vous pouvez isoler entre et sous les chevrons ou bien uniquement sous les chevrons.

Si la hauteur de vos chevrons est égale ou supérieure à 8 cm, une première couche de panneaux triangulaires est glissée entre les chevrons. Ceux-ci sont posés en quinconce pour corriger les irrégularités des espacements entre les chevrons. Puis vous pourrez dérouler une seconde couche d'isolant de façon transversale, que vous maintiendrez grâce à des pattes de fixation si la couche n'est pas trop épaisse ou par une ossature métallique si celle-ci est plus importante.

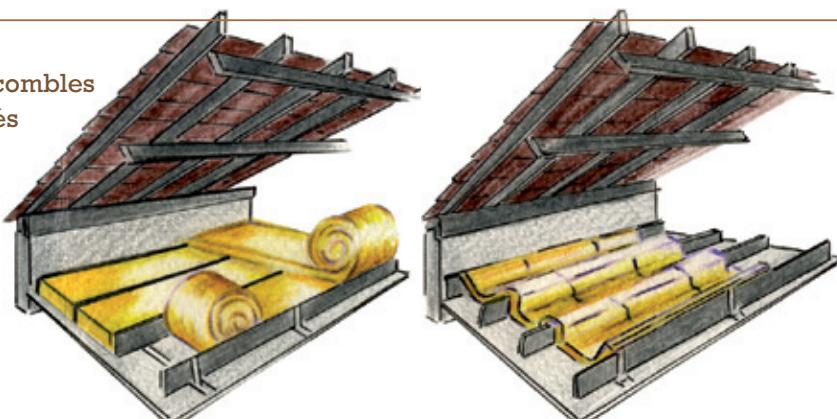
Vous déroulerez une couche de laine transversalement en sous-face des chevrons par embrochage au travers des suspentes puis vous clipserez la laine avec les ergots.

Les combles non aménagés

On isolera directement sur le plancher car les combles sont plus froids que le reste de la maison. Si votre plancher est en béton, vous utiliserez des panneaux rigides de type polystyrène haute densité ou des plaques de PSEXtherm, Thane 24 ou XPS que vous recouvrerez ensuite de panneaux d'aggloméré ou de plancher bois. Si vos combles ne sont pas utilisés du tout, vous déroulerez une laine minérale d'une épaisseur de 20 cm puis vous croiserez avec un second matelas de 20 cm de cette même laine double densité.

Fig. 6.4 –

Isolation de combles non aménagés



Les toitures plates

L'isolation des toitures plates demande une certaine expérience, c'est la raison pour laquelle il est préférable de faire appel à un professionnel.

L'isolation par l'intérieur est à proscrire pour différentes raisons. Ce type de toiture est soumis aux chocs thermiques. Des moisissures pouvant entraîner ensuite une forme de pourriture peuvent apparaître entre l'isolant et le plancher faisant des dégâts irréversibles. On choisira donc l'isolation par l'extérieur.

Il existe trois types de techniques :

- toiture chaude
- toiture inversée
- toiture combinée

La toiture chaude

Il s'agit de placer un pare-vapeur sur la totalité de la toiture plate, puis de mettre un isolant rigide en polystyrène par exemple. L'épaisseur dépendra de la résistance thermique voulue mais sera au moins de 20 cm. Puis vient une nouvelle membrane d'étanchéité.

La toiture inversée

Il faut toujours enlever l'isolant existant avant d'en remettre un nouveau car l'ajout d'un isolant sur l'isolant existant induirait des problèmes de condensation interne dans l'isolant, avec ensuite tous les problèmes que l'on peut imaginer. Il s'agit de poser un isolant rigide (polystyrène extrudé) ; celui-ci sera lesté pour éviter qu'il ne s'envole. Cette technique est moins performante que celle de la technique chaude mais moins onéreuse en matière de mise en œuvre ; l'entretien est plus délicat et il faudra augmenter l'épaisseur de l'isolant : 25 cm au lieu de 20 cm. Il est important de vérifier que votre toiture plate pourra supporter le poids du leste, qui est en général du gravier.

La toiture inclinée

En construction neuve, la sous-toiture est obligatoire en cas de couverture tuile, conseillée en cas de couverture en ardoise.

Le rôle de la sous-toiture est d'évacuer vers l'extérieur l'eau ou la vapeur d'eau qui se serait indûment infiltrée, et ce dû à des conditions climatiques extrêmes telles que des pluies torrentielles, des chutes de neige poudreuses en présence de fort vent, des pluies verglaçantes

directement sur une couverture très froide, etc., ou lorsque la couverture devient défaillante, dans le cas de tuiles brisées par exemple. Son rôle est aussi d'évacuer l'eau qui se serait condensée sur la face intérieure de la couverture et donc de protéger l'isolation.

On vérifiera que l'écran de sous-toiture arrive bien dans la gouttière.

La toiture combinée

Il s'agit en fait de placer une toiture inversée sur une toiture chaude. Il faut vérifier que la membrane d'étanchéité est en bon état et peut être réutilisée, ce qui vous permettra de réaliser une économie. L'isolant existant est recouvert par la membrane d'étanchéité et le nouvel isolant, polystyrène extrudé, est placé sur la membrane d'étanchéité. On placera un pare-vapeur entre le plancher et le premier isolant. Il est bien sûr obligatoire de lester le tout pour éviter que le nouvel isolant ne s'envole. On privilégie cette technique lorsque des couches d'isolation très importantes sont nécessaires.

Vous pouvez ensuite mettre une membrane spécifique et effectuer une toiture végétalisée, quelle que soit la technique employée.

La toiture végétalisée

Les toitures végétalisées sont souvent citées pour pallier les problèmes de gestion des eaux pluviales, surtout en zone urbaine. En effet, l'eau récupérée sur les toits est habituellement dirigée vers les gouttières, puis les égouts pour finir dans les stations d'épuration parfois trop inondées. Le toit végétal va servir d'éponge au toit et capter cette eau : une partie de celle-ci servira aux plantes du toit, une autre partie sera évaporée et enfin une dernière partie sera dirigée vers le réseau via les canalisations. Le captage par les plantes retarde l'évacuation de l'eau et permet aussi un écoulement plus régulier. Sur une année, on peut estimer le traitement des eaux fortement réduit, car un toit retient environ la moitié des précipitations. Cette technique est très efficace pour lutter contre l'engorgement des réseaux d'assainissement.

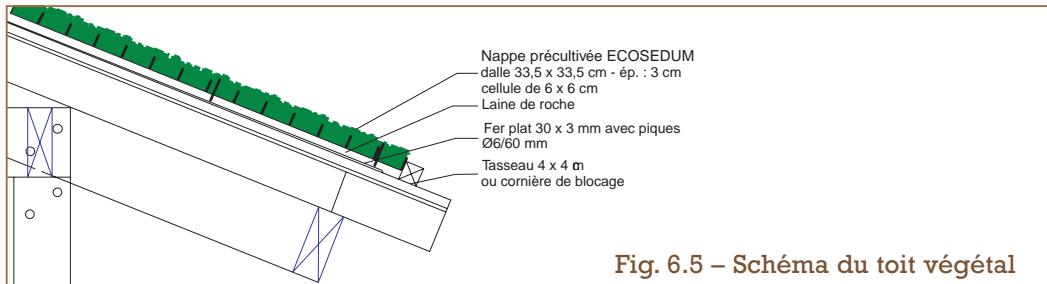


Fig. 6.5 – Schéma du toit végétal

Les nouveaux produits d'isolation

De nouveaux produits très efficaces ont vu le jour. Ce sont des procédés complets d'isolation de toiture par l'extérieur. Le produit est utilisé comme support de couverture avec lame d'air intégrée. Ces produits existent avec une laine de roche ou avec du polystyrène expansé.

L'avantage de ce type de produit est de permettre une économie de main-d'œuvre puisque votre toiture ne nécessite que trois opérations, la pose du rampant, celle de votre panneau d'isolation puis celle des éléments de couverture que vous aurez choisis. Le gain de temps est estimé à environ 25 % par rapport à une toiture traditionnelle avec pose d'isolant, et vous évitez le chevonnage. Les produits sont coupés à la dimension, ce qui évite les découpages sur chantier.

Il est habituellement rentable d'améliorer l'isolation d'une maison mal isolée. En construction neuve, il est logique de bien isoler le bâtiment pour ne pas avoir à recommencer plus tard, ou mieux encore d'utiliser des matériaux auto-isolants. Le meilleur résultat (baisse des consommations de chauffage, diminution des phénomènes de condensation et augmentation du confort) sera obtenu en traitant de façon équilibrée les parois (toit, murs, sols). Trois ordres de grandeur sont à respecter en neuf ou en rénovation :

- toit : $R = 6 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$
- mur : $R = 3 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$
- sol : $R = 3 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$

L'isolation du toit, des murs et du sol permet de réduire considérablement les émissions de gaz à effet de serre du fait d'une très forte diminution de la consommation de chauffage : jusqu'à - 80 % par rapport à une maison non isolée et ce quel que soit l'isolant employé.

Isolation des vitrages

Les pertes par les vitrages représentent environ 13 % des déperditions totales. Il est donc important de bien choisir son vitrage mais aussi l'huissier et sa mise en œuvre.

Les vitrages peu émissifs comportent un revêtement spécial à base d'oxyde métallique sur la face intérieure, permettant de diminuer considérablement les pertes de chaleur par rayonnement (environ 30 %).

Rappel sur la conception bioclimatique

Afin d'éviter les déperditions thermiques l'hiver et la surchauffe l'été, il est important d'opter pour des vitrages spécifiques, mais aussi de bien concevoir leur disposition.

En effet, il faudra capter les rayonnements du soleil l'hiver quand celui-ci est bas sur l'horizon et les réfléchir l'été quand le soleil est haut. La meilleure disposition est la verticale : plus l'angle d'incidence entre le rayon et la vitre s'éloigne de 90 °C, plus la proportion de lumière et d'énergie réfléchies est importante, surtout à partir de 40 °C. Il est donc important d'envisager des débords de toit¹ suffisants pour ne pas capter les rayons l'été, voire des brise-soleil ou encore des occultations de type volet.

Dans l'idéal, chaque pièce de votre maison aura une surface vitrée équivalant à 16,6 % de la surface au sol de la pièce. La surface vitrée d'une fenêtre représente 70 % de la totalité de la surface. La qualité du verre est devenue primordiale : celui-ci doit notamment laisser une grande luminosité tout en étant à haut pouvoir d'isolation thermique, phonique, anti-projectiles, antichocs, voire anti-effractions.

1. Voir page 37.

Vitre et transmission de chaleur

La vitre est souvent une barrière entre deux ambiances aux températures différentes, avec une paroi chaude et une paroi froide. Il y a donc transfert de chaleur entre les deux ambiances. La vitre, exposée au rayonnement solaire, est également vecteur de chaleur passive.

La transmission de chaleur se fait de trois manières : par conduction, convection et rayonnement.

Par conduction, le transfert de chaleur de l'extérieur vers l'intérieur ou de l'intérieur vers l'extérieur s'effectue sans déplacement de matière. Le flux de chaleur est fonction de l'écart de température entre les deux ambiances et de la conductivité du matériau. La conductivité du verre est $\lambda = 1,0 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

Par convection, le transfert de chaleur se fait entre la surface d'un solide et un fluide liquide ou gazeux avec déplacement de matière ; c'est par exemple le cas d'un radiateur.

Par rayonnement, le transfert de chaleur se fait par irradiation (ondes ou particules) entre deux corps se trouvant à des températures différentes. Le meilleur exemple est celui du soleil.

Au niveau des vitrages, des études ont prouvé que les deux tiers des déperditions thermiques sont dus au rayonnement. L'idée est donc venue d'appliquer une fine couche d'oxyde métallique sur la face intérieure du double vitrage.

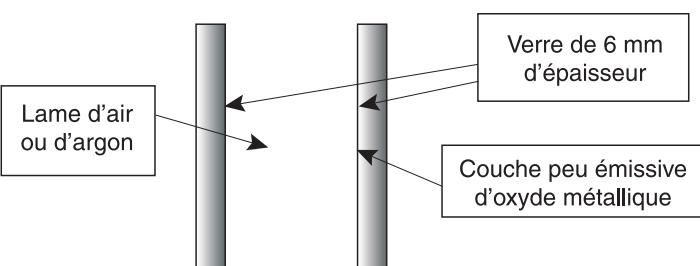
Double et triple vitrage

Cette couche dite peu émissive permet de réduire les déperditions thermiques de l'ordre de 60 à 70 %, puisque le transfert par rayonnement est alors très faible. Ce vitrage est appelé ITR (isolation thermique renforcée) ou parfois VIR (vitrage à isolation renforcée).

Tous ces transferts thermiques sont définis par une vitesse du vent, des émissivités et des températures rencontrées dans le domaine du bâtiment. C'est ce que l'on appelle les échanges extérieurs h_e et les échanges intérieurs h_i .

Les valeurs normales de ces coefficients sont de $h_e = 23 \text{ W/m}^2.\text{K}$ et $h_i = 8 \text{ W/m}^2.\text{K}$.

Fig. 6.6 – Fig. 6.7 – Exemple de vitrage peu émissif



1. Pour bénéficier d'un crédit d'impôts, votre vitrage doit être peu émissif et avoir un coefficient U_g inférieur ou égal à $1,5 \text{ W/m}^2 \text{ °K}$. Si vous avez opté pour des doubles fenêtres (seconde fenêtre sur la baie) avec un double vitrage renforcé, U_g doit être inférieur à $2 \text{ W/m}^2 \text{ °K}$.

La technique du double vitrage existe depuis fort longtemps. Elle consiste à enfermer une lame d'air entre deux vitres. Notons que le manque d'étanchéité entre le vitrage et le montant de la vitre lui confère une baisse de qualité thermique au cours du temps. De gros progrès ont été accomplis dans ce domaine, le plus récent étant sans aucun doute le vitrage collé. Le vitrage devient isolant lorsque l'air, emprisonné entre deux vitres, est immobile et sec, et les vitres, solidarisées sur leur pourtour par un profilé métallique, l'empêchent de s'en aller. Mais ce n'est plus suffisant, il doit maintenant permettre à la chaleur de rester dans le logement l'hiver et dehors l'été, entre autres.

Le pouvoir isolant s'exprime par le coefficient U_g ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$). Plus ce coefficient est petit, meilleure est la performance du vitrage.

Pour la fenêtre, le pouvoir isolant s'exprime en U_w ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$). Plus ce coefficient est petit, plus la fenêtre est isolante thermiquement parlant¹.

Détermination du coefficient U

Les transferts thermiques au travers d'une paroi par conduction, convection et rayonnement sont caractérisés par le coefficient U. Celui-ci exprime le flux de chaleur traversant une paroi d'une surface de 1 m^2 , entre deux ambiances dont la différence de température est de 1 °C . Plus la valeur de U est faible, meilleure est l'isolation thermique de la paroi.

Le remplacement de la lame d'air par un gaz naturel rare a permis d'améliorer considérablement la valeur du U_g , puisque cela diminue les transferts thermiques par conduction, convection et rayonnement, permettant une amélioration de 26 à 42 % par rapport à un VIR avec lame d'air inoffensif.

L'amélioration portera obligatoirement sur la diminution des échanges entre les deux vitrages car on ne peut agir sur les coefficients d'échange superficiels.

On remplacera l'air se trouvant entre les deux vitrages par un gaz plus lourd ayant de fait une conductivité thermique plus faible. Le plus couramment employé est l'argon mais certains utilisent le krypton, encore plus efficace mais aussi plus cher.

Par exemple, avec un ITR de 4/12/4 et une lame d'argon, on obtient un $U_g = 1,6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ contre un $U = 2,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ pour de l'air, et pour un 4/16/4, $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ avec une lame d'argon ; c'est le double vitrage le plus performant à l'heure actuelle. Ce procédé permet d'améliorer grandement les performances avec un U_g variant

de 1,4 à 1,1 W/m².K suivant l'épaisseur de la lame d'air. De plus, cela réduit nettement la sensation de vitre froide ainsi que les problèmes de condensation.

Pour obtenir une maison passive (moins de 15 kWEp/m²/an), il est souhaitable d'opter pour un triple vitrage. Si vous vivez dans une région située au nord de la France ou dans une zone au climat de montagne, ce choix est plus que fortement conseillé. Sachez alors que pour les triples vitrages, U_g varie de 0,9 à 0,5 W/m².K pour les plus performants.

Et l'isolation phonique ?

On l'exprime par l'indice R_w qui est le niveau d'affaiblissement acoustique apporté par une paroi vitrée. Plus cette valeur est élevée, plus la performance du vitrage sera élevée. Une simple vitre atténue le bruit extérieur de 22 dB et un double vitrage de type 4/12/4 l'atténue de 32 dB (la RT 2005 impose un affaiblissement acoustique de 30 dB).

En matière d'affaiblissement acoustique, la logique consiste à augmenter l'épaisseur de la vitre extérieure du double vitrage. Enfin, lorsqu'il faut atténuer le bruit de façon conséquente, le choix d'un double vitrage comportant un feuilletté acoustique est une très bonne solution, certes chère, mais très efficace.

Isolation des huisseries

Des études ont montré que 25 % de l'énergie se dissipent au travers des fenêtres. C'est la raison pour laquelle l'isolation thermique des fenêtres est très importante. La fenêtre permet à la lumière de pénétrer dans la pièce, et la clarté du jour demeure essentielle au bien-être des habitants. La lumière et la clarté offrent l'énergie naturelle dont nous avons besoin tous les jours. Le meilleur compromis peut permettre des économies d'énergie considérables, ce poste n'est donc en aucun cas à négliger. Maintenant que vous avez fait le choix du vitrage, il vous faut décider de la qualité du cadre, encore appelé huisserie.

Des exigences statiques particulières font qu'on attend souvent beaucoup des fenêtres. La charge due à l'action du vent est souvent importante. Il n'est souvent possible d'atteindre les valeurs prescrites qu'en ayant recours à des renforcements statiques supplémentaires. De

plus, votre choix sera fonction des qualités isolantes, thermiquement et phoniquement parlant, que vous souhaitez, ainsi que de la taille de vos huisseries. Quels sont les avantages et les inconvénients de ces matériaux ?

Les cadres en PVC

Le PVC est le matériau le plus utilisé pour les cadres de fenêtre. Il ne grise ni ne jaunit avec le temps. Le PVC est du polychlorure de vinyle, c'est la seconde matière de synthèse la plus utilisée au monde, et il existe désormais des PVC sans plomb. Le PVC est un matériau inerte, il ne dégage pas d'éléments toxiques, ni par contact avec l'atmosphère ni lors de son entretien. Son comportement est tout à fait excellent lorsqu'il est exposé aux intempéries (soleil, gel, humidité, air salin) et à la pollution. Il n'est pas nécessaire de renforcer les profilés, cela dépend en fait de la dimension, du type d'ouverture et du niveau de performance recherché, en fonction de l'exposition et du poids du vitrage.

Le PVC a de plus une faible conductivité thermique, couplé à un vitrage isolant, conférant à la fenêtre d'excellentes performances. Il répond aux exigences de la nouvelle réglementation thermique actuellement en vigueur. Les portes-fenêtres sont des produits de conception moderne, cependant il faut tout de même faire attention à la qualité car c'est sans doute sur ce type de fenêtre qu'il y a le plus de différences à ce niveau.

En termes de couleur, il existe plusieurs possibilités comme la coloration dans la masse, réservée pour l'instant aux teintes pastel, le Film Renolit (plaxage), qui permet l'imitation du bois (texture et couleur), le laquage ou encore le capotage aluminium, qui vous permet un grand choix de couleurs et vous assure une bonne protection et peu voire pas d'entretien.

Les profilés PVC devront avoir une épaisseur d'au moins 68 mm et être composés de cinq chambres, qui conféreront à la fenêtre une très bonne isolation thermique. La présence de renforts aciers dans les chambres du profilé procure une très bonne stabilité des profils. Vous vérifierez aussi la présence d'au minimum trois joints circonférents aux jonctions de l'ouvrant et du dormant.

Si vous disposez de tous ces éléments et d'un double vitrage lame d'argon de qualité, pour une fenêtre classique votre U_w variera de 1,3 à 0,85 $W/m^2.K$, pour les plus performantes¹.

1. Pour bénéficier d'un crédit d'impôts sur votre cadre de fenêtres ou portes-fenêtres en PVC, son pouvoir isolant U_w doit être inférieur ou égal à 1,6 $W/m^2.K$.

Les cadres en aluminium

L'aluminium possède, entre autres avantages, le gain de clair de jour. En effet, les profilés sont plus fins que pour le PVC, ce qui confère une largeur de vitrage plus importante, donc un éclairement supérieur pour la même taille d'huisserie. Le principal inconvénient réside dans le fait que l'aluminium est conducteur, il est donc important de vérifier que votre cadre est équipé de système de rupture de pont thermique, cela évitera la condensation et le ruissellement dans le cas de différences de températures importantes entre l'intérieur et l'extérieur.

Dans le cas de châssis coulissant de grande taille, vous êtes obligé d'utiliser de l'aluminium à rupture de pont thermique. Choisissez des coulissants équipés d'un joint de frappe plutôt que d'un joint brosse qui s'use plus vite et n'offre pas les mêmes qualités en termes d'étanchéité.

Pour ce qui est de l'isolation thermique, les cadres ou coulissants en aluminium ont des performances thermiques inférieures au bois ou au PVC. Par contre, vous pourrez choisir la couleur que vous souhaitez. Les produits sont thermolaqués, ils résistent donc bien aux intempéries.

Quant aux prix, ils sont supérieurs à ceux du PVC.

En termes d'environnement, l'aluminium est recyclable à l'infini et ne perd pas ses qualités à l'usage².

-
2. Pour bénéficier d'un crédit d'impôts sur votre cadre de fenêtres ou portes-fenêtres en aluminium, son pouvoir isolant Uw doit être inférieur ou égal à $2 \text{ W/m}^2 \text{ °K}$.

Les cadres en bois

Le bois est un matériau naturel isolant, résistant aux écarts de température importants, adapté à la nouvelle réglementation thermique (RT 2005). Ce produit ne nécessite pas beaucoup d'énergie pour fabriquer les huisseries, contrairement à l'aluminium ou au PVC, puisqu'il existe à l'état naturel, mais il demande un certain entretien pour l'extérieur ainsi que pour l'intérieur, dans une moindre mesure.

Il est privilégié dans le cadre de constructions bois, mais les particuliers sont de plus en plus demandeurs de matériaux faciles d'entretien ou ne nécessitant pas ou peu d'entretien. D'où un choix s'orientant de plus en plus vers le PVC, ou alors vers des fenêtres mixtes, alliant le bois, matériau noble, à l'intérieur, et le bois capoté aluminium à l'extérieur, pour la couleur ainsi que pour une bonne tenue aux intempéries.

Si vous choisissez ce type d'huisserie avec du triple vitrage, vous obtenez les meilleurs coefficients à ce jour en termes d'isolation ther-

mique et phonique. Certains fabricants proposent une gamme de fenêtre bois capoté aluminium avec des performances allant jusqu'à $U_w = 0,68 \text{ W/m}^2\text{K}$.

L'épaisseur des profilés est assez importante, ils seront de 82 mm pour le bois seul, et pourront atteindre 93 mm pour le bois alu. Vous pourrez avoir un cadre en bois seul ou en bois alu. Si vous faites le choix du bois alu pour des facilités d'entretien extérieur, la partie entre le bois et l'aluminium sera isolée par une mousse thermo-isolante. D'autre part, le fait d'avoir une hauteur en feuillure de 20 mm et une parcloses fixe vous assurera une excellente isolation thermique. La présence de trois joints circonférents assurera aussi une grande étanchéité. Vous pouvez obtenir des valeurs de U_w allant jusqu'à $0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ avec ce type d'huisserie associé à un vitrage performant.

Si vous optez pour un cadre bois seul, veillez à demander si le vitrage est collé avec l'ouvrant, ce qui est important car la statique de la fenêtre s'en trouve améliorée et la résistance au vent aussi. Le collage en silicone au niveau du vitrage garantit une grande étanchéité. Vous pouvez obtenir un U_w allant jusqu'à $0,71 \text{ W/m}^2\text{K}$.

-
1. Pour bénéficier d'un crédit d'impôts sur votre cadre de fenêtres ou portes-fenêtres en bois, son pouvoir isolant U_w doit être inférieur ou égal à $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

En termes d'huisserie, vous ferez aussi attention au système de fermeture : préférez une tête champignon ainsi qu'une gâche antigondage¹.

Les portes d'entrée

Les déperditions y sont souvent importantes. Outre la porte en elle-même, dont les performances thermiques sont relativement faibles, vous aurez des déperditions au niveau de ce que l'on appelle le dormant, c'est-à-dire la partie fixe se trouvant dans le mur ou encore au niveau du seuil de la porte. Il est important que tous ces éléments soient hermétiques à l'air. Par conséquent, lorsque vous ferez installer votre porte d'entrée, veillez à bien étanchéifier le dormant.

En ce qui concerne la porte en elle-même, vous pourrez opter pour de l'aluminium. Choisissez une épaisseur de profil de 80 mm ; celui-ci sera composé de trois chambres avec rupture de pont thermique. L'intérieur de la porte sera isolé grâce à un noyau d'isolation en mousse polyuréthane. Le seuil sera aussi isolé et le coefficient U de la porte, donc dormant + ouvrant, sera de $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Si vous choisissez une porte d'entrée en bois et aluminium, vous obtiendrez une meilleure valeur de votre U. La construction de ce type de porte résulte d'une combinaison de panneaux bois capoté aluminium ou recouvert d'aluminium, isolés par des panneaux de mousse de polyuréthane. Les panneaux de bois sont en contreplaqué, ce qui confère à la structure une grande stabilité même en cas de variations importantes de température. Vérifiez aussi la présence de joints d'étanchéité entre le seuil, le dormant et l'ouvrant. La valeur d'isolation thermique de ce genre de porte est $U = 0,80 \text{ W/m}^2\text{.K}$ pour les plus performantes. Vous pourrez aussi opter pour des portes en PVC, dont le coefficient U est meilleur que pour l'aluminium seul. On obtient en moyenne un $U = 1 \text{ W/m}^2\text{.K}$; quand au prix, il est inférieur à celui d'une porte bois-alu.

Conseil

À l'heure actuelle, le type de fenêtre à privilégier, celle apportant le meilleur rapport qualité/prix, tout en respectant la RT 2005, est une fenêtre PVC avec vitrage 6/14/6 d'une épaisseur de 26 mm, le plus courant étant 24 mm (pour des raisons de parcloses), avec un vitrage 6/14/4 et un film métallique faible émissivité. Il faudra compter environ 200 € sans la pose pour une fenêtre deux vantaux de 125 × 140 cm.

En ce qui concerne les portes-fenêtres, le vitrage sera 10/10/4 avec un film faible émissivité de 4 mm sur la vitre. Il faudra compter environ 400 € pour une porte-fenêtre de 215 × 140 cm, sans la pose.



Objectif :
énergie zéro
Chauffage, eau chaude
sanitaire rafraîchissement
et production d'électricité

7 > Le chauffage

Le bois-énergie

Le bois-énergie connaît un engouement certain, en particulier chez les personnes ayant choisi de construire à la campagne, ainsi que celles habitant des régions relativement boisées comme l'est de la France ou les Landes.

Le bois-énergie est une énergie renouvelable qui contribue à la lutte contre l'effet de serre et le réchauffement climatique puisqu'il recycle dans l'atmosphère le gaz carbonique absorbé par les forêts. De plus, celui-ci constitue une excellente valorisation des sous-produits et déchets de la filière bois et participe à la gestion rationnelle des forêts donc au maintien des équilibres hydrologiques et climatiques.

Les granulés bois

Pour les particuliers, ce sont essentiellement des granulés de bois qui sont utilisés comme combustible bois. Ceux-ci sont fabriqués à partir de sciure compressée à haute pression avec de la vapeur d'eau, en cylindre de bois de 6 à 9 mm. Ces granulés ne génèrent pas ou peu de cendre. Ils sont livrés par camion et entreposés dans une réserve appelée silo permettant de stocker jusqu'à 7 m³, garantissant une autonomie d'un an environ. Ce produit possède un pouvoir calorifique de 4 600 kWh/t. Il est à noter que les granulés bois craignent l'humidité. Le combustible peut donc se détériorer et devenir moins performant voire inutilisable.

Les chaudières

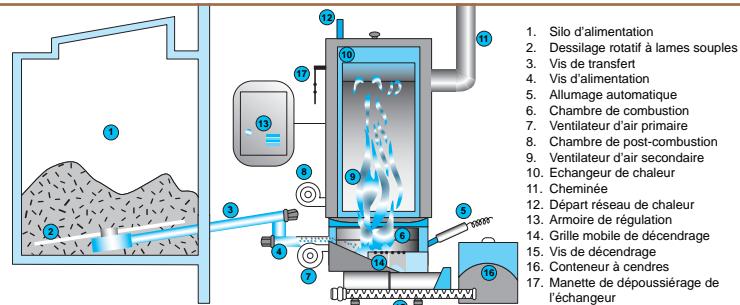
Les chaudières à granulés assurent l'intégralité de vos besoins en chauffage. Ce type de chaudière peut fonctionner aussi bien en haute qu'en basse température et être couplé à un chauffage solaire. Il est important de construire un silo à granulés à proximité de votre chaudière. Le silo est en béton classique et se termine par un cône métallique ; vous avez aussi maintenant la possibilité d'acheter une chaudière à granulés bois avec silo en tissu spécifiquement étudié pour l'usage. Les granulés descendant par gravité et une vis sans fin ou bien un système d'aspiration ou de trémie alimente un brûleur à granulés, adapté sur la chaudière, d'une puissance de 15 kW ; puis une seconde vis placée dans le brûleur amène les granulés jusqu'au foyer du brûleur. L'air primaire et l'air secondaire nécessaires à la combustion proviennent d'un ventilateur. Une chaudière bien réglée pollue moins et nécessite moins de combustible. Les propriétés des granulés varient d'une marque à l'autre, il est important de faire régler sa chaudière si l'on change de fournisseur. De même, il est obligatoire, comme pour tous les autres appareils de chauffage, de faire effectuer deux ramonages par an des conduits de fumées. La puissance des chaudières à granulés varie de 12 à 100 kW. Le chauffage central aux granulés est aussi simple d'utilisation qu'une chaudière au fioul ou au gaz. Ce type de chaudière possède un très haut rendement, de 85 à 90 %, et permet de brûler la totalité de la matière, générant très peu de cendres. Les cendres sont automatiquement évacuées dans un réceptacle prévu à cet effet. Un seul décendrage par an est nécessaire. En ce qui concerne les risques d'incendie, des trappes coupe-feu et des injections d'eau sont prévues. La chaudière à granulés peut aussi assurer la production d'eau chaude sanitaire en hiver voire aux intersaisons. En été, un chauffe-eau solaire – dont le coût est d'environ 10 000 € pour 10,5 m² de capteurs intégrés en toiture, le ballon de stockage, la régulation et la pose – prend le relais afin de ménager la chaudière à granulés.

Pour une maison, le coût d'une installation complète comprenant chaudière, silo et hydraulique de la chaudière peut aller de 11 000 à 20 000 €, sans les aides financières¹.

Il existe deux types de chaudière : celles qui fonctionnent uniquement avec des granulés et les mixtes, fonctionnant avec des granulés mais dont le fonctionnement peut également se faire avec des bûches. Pour ces dernières, le fonctionnement est manuel avec les bûches et l'approvisionnement automatique avec granulés se déclenche lorsque la température baisse.

1. L'installation d'une chaudière basse température vous permet de bénéficier d'un crédit d'impôts d'une valeur de 15 % des dépenses. Quant aux chaudières à condensation, elles permettent lors d'une installation de bénéficier d'un crédit d'impôts d'une valeur de 40 % des dépenses si elles ont été achetées après le 1^{er} janvier 2006.

Fig. 7.1 – Schéma de principe d'une chaudière à granulés et à bûches



Les poêles à granulés

Le poêle à granulés peut être utilisé en chauffage d'appoint ou comme chauffage principal pour des maisons à faibles besoins en énergie (petite surface) ou très bien isolées. La puissance des poêles à granulés actuels varie de 5 à 15 kW avec une autonomie pouvant aller de quelques heures à plusieurs jours. Le combustible est alors stocké soit directement dans le poêle soit dans un petit silo. Le poêle est allumé et régulé par commande électronique (ce qui nécessite un réglage préalable). Les derniers modèles peuvent être pilotés à distance.

Vous pouvez même raccorder votre poêle à un système de chauffage central ou faire en sorte qu'il produise l'eau chaude nécessaire à votre habitation.

Le prix varie selon la puissance fournie, l'autonomie et les performances des commandes électroniques. Il faut compter de 2 000 à 4 000 €.

Les silos

Il existe deux types de silo : les silos maçonnés et les silos textiles. Si les silos maçonnés étaient les plus répandus jusqu'à maintenant, les silos textiles se démocratisent de plus en plus. Les nombreux avantages qu'ils offrent font d'eux la meilleure solution. En effet, leur grande étanchéité permet une installation dans des pièces humides, voire en extérieur, et leur mise en œuvre est simple, rapide et économique.

Les prix

Une tonne de granulés correspond à 3 stères de hêtres ou encore 460 l de fioul. Le prix actuel est d'environ 180 €/t livrée, soit 2 160 €/an pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire.

Nous noterons que le prix du granulé bois livré a connu une augmentation non négligeable cette année. À surveiller !

Technique de chauffage	Rendement	Combustible	Gamme de puissance	Autonomie	Alimentation
Cheminées à foyer ouvert	< 15 %	Bûches	-	2 à 3 heures	Manuelle
Inserts ou foyers fermés	30 à 70 %	Bûches ou briquettes	5 à 20 kW	< 10 heures	Manuelle
Chaudières à bûches combustion montante	40 à 70 %	Bûches ou briquettes	5 à 150 kW	< 10 heures	Manuelle
Poêles et inserts à granulés	80 à 85 %	Granulés	5 à 20 kW	12 à 72 heures	Manuelle ou automatique
Chaudières à granulés	80 à 90 %	Granulés	15 kW à + MW	1 jour à plusieurs mois	Manuelle ou automatique

Économiquement parlant, le bois-énergie est un combustible concurrentiel dont le prix n'est pas soumis aux fluctuations des cours internationaux des monnaies et des carburants. En tant qu'énergie qualifiée de « propre », son utilisation ne sera pas concernée par l'application de l'écotaxe sur l'énergie. Il est vrai que le coût d'installation d'une chaufferie reste encore sensiblement plus important pour le bois que pour le fioul et surtout le gaz (environ 15 000 € pour une chaudière à granulés). Mais cet inconvénient est désormais pondéré, sur tout le territoire français, par les crédits d'impôts accordés pour ces installations. Ces aides permettent d'amortir plus rapidement les investissements et d'ouvrir de nouvelles perspectives au marché des chaudières bois donc d'en abaisser progressivement le coût.

L'utilisation de 4 m³ de bois-énergie permet d'économiser 1 t de pétrole (tep) et d'éviter en moyenne l'émission de 2,5 t de CO₂ dans l'atmosphère.

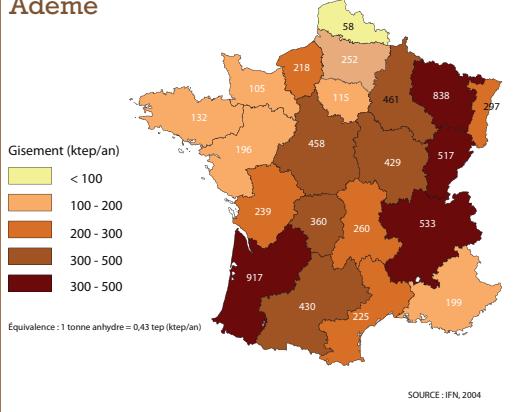
Les bûches et les plaquettes forestières

Les bûches

Le bois bûche est le combustible le plus classique, très utilisé en milieu rural. La qualité du chauffage dépend de celle des essences utilisées et du degré de séchage des bûches au moment de leur utilisation. L'utilisation de bois bûche avec une chaudière classique présente des inconvénients majeurs, comme celui de l'autonomie ou de l'utilisation manuelle. Le chauffage traditionnel bois bûche peut servir de chauffage d'appoint et de bon complément. Préférez alors une chaudière mixte avec approvisionnement automatique. La qualité de combustion comme de rendement des chaudières à bûches dépend de l'admission de l'air dans le foyer.

Fig. 7.2 – Carte des gisements forestiers énergétiques en France

Ademe



Les plaquettes forestières

Les plaquettes forestières se présentent sous la forme de petits morceaux de bois d'environ 2 × 2 × 5 cm. Elles comprennent les résidus et branches issus du défrichage et de l'élagage des exploitations. L'utilisation de ces plaquettes est la même que pour les granulés bois, et le prix généralement pratiqué est compris entre 31 et 85 € par tonne.

Lorsque vous ferez votre choix, assurez-vous que votre région fait partie d'une zone à exploitations forestières importantes, dans ce cas la livraison sera moins coûteuse (voir carte 7.2).

Quel autre type de chauffage au bois ?

En France, environ 6 millions de maisons individuelles sont chauffées au bois. La majorité de ces chauffages sont de conception ancienne avec des rendements relativement faibles. On estime que le remplacement de ces appareils par des matériels plus modernes permettrait de gagner 30 à 40 % sur le rendement combustion. De plus, les personnes gagneraient en confort dans la mesure où ces nouveaux appareils génèrent moins de cendres et disposent d'une alimentation automatique. Ils bénéficient donc d'une simplicité d'utilisation identique à une cuve de fioul ou une alimentation au gaz.

Les cheminées, inserts et foyers fermés

La cheminée reste une valeur sûre, elle est dotée d'une connotation positive auprès des particuliers. Souvent, on l'utilise plus pour son agrément que pour se chauffer. Les cheminées traditionnelles ont un rendement inférieur à 10 % voire négatif lorsque le tirage est trop important.

On voit apparaître depuis quelques années des systèmes de récupération de la chaleur des fumées. Les calories sont ensuite renvoyées sous forme d'air chaud dans la pièce ou dans d'autres pièces de la maison. Le rendement de ce type de cheminée est de l'ordre de 30 %.

D'autres systèmes encore plus performants, les inserts tout comme les foyers fermés, permettent d'obtenir des rendements pouvant aller jusqu'à 75 %.

L'investissement pour un insert ou un foyer fermé oscille entre 750 et 3 850 €.

Les poêles performants

Le poêle à bois peut être utilisé comme chauffage d'appoint ou en chauffage principal. Il est performant au niveau qualité de chauffage et demeure économiquement très intéressant. Les poêles en faïence permettent une bonne accumulation de la chaleur tout comme les poêles à catalyse. Ces matériels disposent d'une arrivée d'air secondaire permettant une meilleure combustion.

Leur rendement peut atteindre 85 %.

L'investissement pour ce type de matériel varie de 640 à 2 050 € pour les poêles à catalyse et peut aller jusqu'à 9 150 € pour les poêles en faïence.

Les fabricants de poêles (liste non exhaustive à titre indicatif)

www.cheminees-center.com

www.ceramique-regnier.fr

<http://poele.faience.free.fr>

<http://cheminee-chambery-savoie.chemineesdes2savoie.com>

www.zunino.fr

<http://www.aquavpc.com/cheminees,450.htm>

(cet annuaire regroupe l'ensemble des fabricants de cheminées)

Les chaudières à tirage naturel

Ce type de chaudière peut être à combustion montante (rendement de 55 %), horizontale (rendement de 60 %) ou inversée (rendement de 65 %). La qualité du rendement dépend de la position du bois et du support sur lequel il se trouve. Dans la combustion inversée, le bois est posé sur une grille, d'où une humidité moindre ; les flammes s'étendent au travers de la grille. Le bois a donc la possibilité de sécher davantage avant de brûler, ce qui permet un meilleur rendement.

Les chaudières à tirage forcé ou turbo

Ces chaudières sont à combustion inversée et sont équipées d'un ventilateur électrique soufflant l'air de combustion, ou encore d'un extracteur aspirant les fumées. La combustion s'avère de fait de très bonne qualité, avec un bon rendement (de l'ordre de 75 %). On peut régler la puissance de fonctionnement de la chaudière.

Le coût de ce type d'installation varie entre 3 800 et 7 000 €.

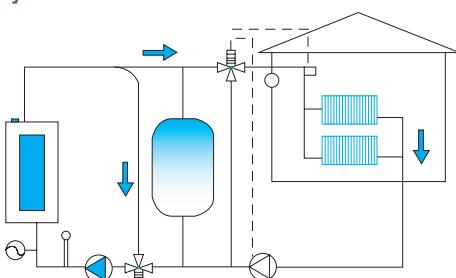
Les chaudières turbo avec hydro-accumulation

Le système stocke un grand volume d'eau et le liquide conserve toute l'énergie accumulée durant le fonctionnement de la chaudière. Au démarrage de la chaudière, l'eau chaude accumulée est donc envoyée vers les radiateurs. Lorsque les pièces ont atteint la température fixée au départ, la chaudière poursuit son fonctionnement maximal et chauffe l'eau stockée dans le ballon, qui prendra le relais lors d'une future demande. Ce système permet de limiter la durée de fonctionnement de la chaudière, d'en accroître de fait la longévité et de limiter le chargement en combustible à une fois par jour. Le volume d'hydro-accumulation idéal est de quinze à vingt fois le volume du foyer de la chaudière.

À l'investissement, le coût de cette installation (ballon et chaudière) va de 7 500 à 11 000 €.

Les chaudières à bois déchiqueté

Fig. 7.3 – Fonctionnement d'une chaudière à hydro-accumulation



Ce type de chaudière s'adresse plus particulièrement aux petits collectifs, tertiaires, urbains, ou encore aux utilisations industrielles. Rien n'empêche un particulier d'avoir ce type de chaudière, cependant il est important de disposer d'une place suffisante pour planter un silo de minimum 30 m³ (ce qui correspond pour un particulier à un an de combustible). La livraison se fait soit par camion si le silo est enterré, soit par soufflerie ou tapis si le silo est au niveau du sol.

L'allumage se fait de manière électrique grâce à un interrupteur. La chaudière est alimentée automatiquement en fonction

de la demande par une vis sans fin qui amène le bois dans la chambre de combustion. Les cendres générées par la combustion de la plaquette forestière (moins de 2 %) sont récupérées dans un conteneur à évacuation manuelle ou automatique, et les poussières issues de la combustion et contenues dans les fumées sont collectées par un filtre. Celui-ci permet d'éviter des rejets dans l'atmosphère et ainsi d'être conforme aux objectifs de protection de l'environnement. Le rendement de combustion de ce type de chaudière est d'environ 80 %. Ce taux peut être obtenu grâce à une évolution de la conception des foyers. Une étude préalable de faisabilité par un bureau d'études spécialisé devra être prévue en amont du projet. Le coût d'une telle installation varie entre 9 000 et 14 000 € – hors aide de l'Ademe voire de la région. Le coût du combustible est estimé à 11 c€/kWh. Le temps de retour sur investissement est estimé entre trois et cinq ans hors subventions.

Le chauffage solaire¹

Le chauffage solaire est constitué de batteries de capteurs solaires et d'un échangeur de fluide caloporteur. On peut l'utiliser de manière directe, il sera alors combiné à un capteur et un plancher chauffant. Un capteur solaire d'environ 10 m² permet d'apporter entre 20 et 30 % des besoins en chauffage suivant la région. Celui-ci permet donc d'abaisser les consommations énergétiques de l'installation de chauffage en place, expliquant son succès dans l'existant.

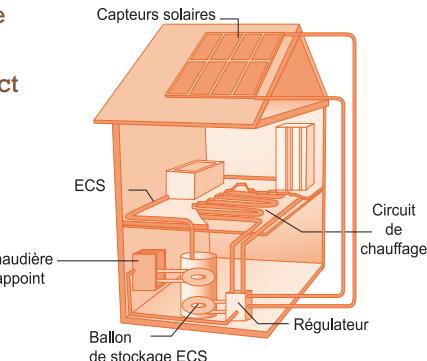
1. Pour plus d'informations sur le chauffage solaire, vous pouvez consulter l'ouvrage de Michel Tissot, *L'énergie solaire, thermique et photovoltaïque*, paru aux Éditions Eyrolles.

Le plancher solaire direct (PSD)

Le principe est simple : le fluide est échauffé dans les capteurs solaires et circule directement dans un plancher chauffant (sans passer par un échangeur ou par un ballon de stockage). Le plancher chauffant, qui est une dalle de béton (béton spécial à accumulation), stocke la chaleur dans la journée et la restitue petit à petit dès lors que le soleil ne donne plus et donc que le béton n'accumule plus de chaleur. Votre dalle, placée au-dessus de ce circuit, joue le double rôle de stockage et d'émetteur de chaleur. La chaleur restituée est douce et uniforme.

En été, pour maîtriser les éventuelles surchauffes, il est nécessaire de prévoir une boucle de décharge ou d'autres systèmes.

Fig. 7.4 – Exemple de fonctionnement de plancher solaire direct



PSD et PSDAI

- Si vous installez un chauffage solaire, vous bénéficieriez d'un crédit d'impôts de 50 % mais il ne pourra vous être attribué que sous certaines conditions :
 - Votre installation doit être réalisée par un professionnel agréé Qualisol ;
 - Votre matériel doit répondre à la certification CSTBAt ou à la certification Solar Keymark ;
 - Vous devrez présenter une facture ou une attestation fournie par le constructeur portant la certification de capteurs solaires ;
 - Votre crédit sera plafonné : 8 000 € pour une personne, 16 000 pour un couple. Ces taux sont valables jusqu'au 31 décembre 2009.

Dimensionner les panneaux

Pour calculer la surface de capteurs solaires nécessaire, on effectue une péréquation entre les besoins d'été et d'hiver. Si vous ne faites pas cela, votre installation sera correctement dimensionnée en hiver mais surdimensionnée pour la production d'ECS durant l'été. Il est donc nécessaire de réduire les besoins entre les différentes saisons.

Comment ? Tout d'abord en agissant sur la conception du bâtiment, notamment au niveau isolation. Vous veillerez à avoir une maison niveau BBC. En termes de dimensionnement, les installations sont prévues pour couvrir 30 à 70 % des besoins annuels en chauffage et ECS. La surface des capteurs est calculée pour que leur productivité soit de l'ordre de 350 à 400 kWh/m²/an. Elle est en moyenne de 15 m² pour une maison disposant d'un plancher basse température de 100 m².

Si vous optez pour la production d'eau chaude solaire exclusivement, on estime que 2 m² de panneaux solaires couvrent les besoins en eau chaude sanitaire d'une personne.¹

Combien ça coûte ?

Pour une maison de 100 m² de plain-pied, équipée d'un plancher chauffant solaire direct, on estime le coût d'un système combiné – donc production d'eau chaude sanitaire + chauffage avec 20 m² de panneaux solaires et toute l'installation – à 23 000 €, desquels vous déduirez les primes de l'état (chèque soleil) et le crédit d'impôts.

Vous bénéficiez de nombreuses aides financières régionales. En 2006, la moyenne versée de ce type de prime s'élevait à 700 € par installation. Attention, si vous bénéficiez d'une aide vous devrez la déduire avant de calculer votre crédit d'impôts. Pour connaître l'aide régionale à laquelle vous pouvez prétendre, rendez-vous sur le site de l'Ademe (www.ademe.fr) ou consultez les Espaces Info-Energie de votre région².

2. Retrouvez toutes les adresses des Espaces Info-Energie des différentes régions en annexe de cet ouvrage, p. 139.



Fig. 7.5
Installation de
panneaux solaires



La géothermie et l'aérothermie

La géothermie est aussi une énergie renouvelable, écologique et disponible à volonté. Le chauffage géothermique puise la chaleur de la terre, de l'eau (géothermie sur nappe phréatique) ou de l'air (dans le cas de l'aérothermie) pour la transformer en chaleur utilisable dans la maison sous forme de chauffage, par l'intermédiaire d'un générateur. Le chauffage géothermique comme aérothermique offre des solutions adaptables à la plupart des constructions, individuelles ou collectives.

L'aérothermie

L'aérothermie est un système qui valorise la chaleur contenue dans l'air extérieur. Cette source de chaleur est facile à exploiter, elle ne nécessite pas de capteurs importants et coûteux à installer, pas plus que d'autorisation spéciale.

Le principe de la géothermie consiste à capter les calories naturellement stockées dans le sol et régénérées en permanence par le rayonnement solaire, les pluies, le vent et la conductivité thermique du sol ou de l'air puis à les amener à un plancher chauffant basse température via une pompe à chaleur.

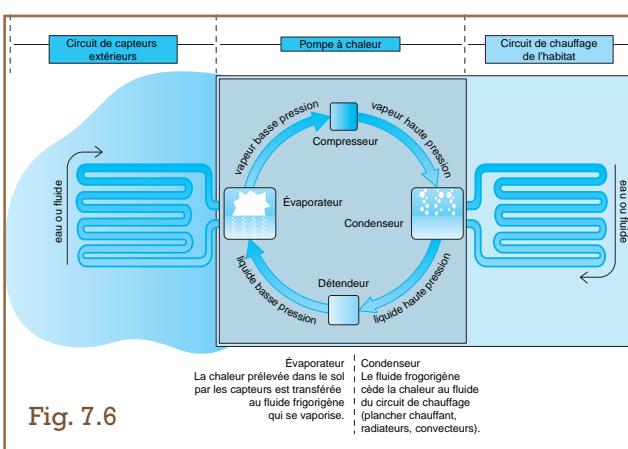


Fig. 7.6

Les pompes à chaleur (PAC)

Comment ça marche ?

Le principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur est celui d'un réfrigérateur fonctionnant à l'envers (pour faire simple !).

Le fluide circulant dans une pompe à chaleur subit un cycle de transformation en quatre étapes :

Le fluide est à l'état de gaz lorsqu'il sort du compresseur, celui-ci est à haute pression et sa température élevée. Il transite ensuite dans le condenseur où il passe à l'état liquide et libère l'énergie qui est transférée vers le circuit de chauffage (plancher basse température et/ou radiateurs) sous forme de chaleur. À la sortie de ce condenseur, la température du fluide est beaucoup plus basse. Il passe ensuite dans le détendeur. L'énergie du fluide reste constante durant la totalité du passage dans le détendeur. À la sortie de celui-ci, le fluide est à l'état liquide basse pression et basse température. Puis le fluide récupère de l'énergie sous forme de chaleur dans l'évaporateur, c'est en fait le circuit de captage. La pression reste constante et le fluide devient totalement gazeux. À la sortie de l'évaporateur, le fluide est tempéré et à faible pression. Puis il repasse dans le compresseur où le gaz est comprimé et passe donc d'une basse pression à une pression élevée grâce à l'énergie mécanique fournie par le compresseur.

L'air comme le sol contiennent une énergie calorifique qui peut être utilisée par un système géothermique adapté. Un ventilateur dirige l'air vers un échangeur thermique qui en absorbe les calories et les transmet à un fluide frigorigène (pompe à chaleur air/eau). Comme pour les autres procédés, le fluide est monté en pression, ce qui a pour effet d'accroître sa chaleur et de conserver les calories capturées précédemment.

Un équipement de dégivrage est intégré à l'évaporateur placé à l'extérieur de manière à garantir un fonctionnement sans problème jusqu'à des températures inférieures à -18 °C. Il est recommandé d'envisager une implantation séparée de ce type d'appareils, avec l'installation de la pompe à chaleur à l'intérieur ; l'évaporateur peut quant à lui être installé à l'extérieur sans aucun problème. De fait il n'y a pas de courant d'air, l'installation est plus silencieuse et sa durée de vie comme sa rentabilité sont améliorées.

Auparavant, lorsque la température était trop basse, l'évaporateur en contact avec l'air extérieur pouvait geler et occasionner des dysfonctionnements, même avec des pompes pourvues d'une régulation inversant pour un court instant leur processus.

Le compresseur de la pompe à chaleur géothermique ou aérothermique a besoin d'énergie électrique, fournie par un moteur électrique, et il faut savoir que pour 1 kWh consommé, votre habitation recevra l'équivalent de 4 à 5 kWh de chaleur voire plus maintenant. C'est ce que l'on appelle le COP (coefficient de performance). Cette manœuvre est rendue possible grâce à un principe issu de la thermodynamique et habituellement utilisé dans les systèmes frigorifiques¹.

1. L'installation de pompes à chaleur vous permettra de bénéficier d'un crédit d'impôts de 50 % des dépenses (pour tout achat effectué après le 1^{er} janvier 2006). Comme pour le chauffage solaire, ces aides sont soumises à condition :

- Si vous optez pour des pompes géothermales ou des pompes air/eau, votre COP doit être supérieur ou égal à 3,3;
- Vous devrez présenter une facture des dépenses (ou attestation fournie par le constructeur) ;
- Vous devrez faire appel à un professionnel pour l'installation.

Quels sont les différents captages ?

Le captage horizontal

Si vous possédez suffisamment de terrain, il faut compter une surface de 1,5 à 2 fois la surface au sol à chauffer. Cette solution est relativement avantageuse. Les capteurs sont enterrés à une profondeur de 80 à 120 cm (hors gel), un fluide caloporteur circule dans les serpentins enterrés, il capte la chaleur de la terre et la conduit jusqu'à votre pompe à chaleur qui la restitue dans le plancher chauffant basse température ou dans les radiateurs en haute température. Attention à bien dimensionner votre surface de capteurs de manière à ne pas geler le terrain. Le captage horizontal est le système le plus courant et le plus facile à installer si l'on dispose de suffisamment de terrain. Il permet de capter de l'ordre de 12 à 40 W/m², selon l'état de votre sol, le plus favorable étant un sol humide, sablonneux et moyennement ensoleillé.

Le captage sur nappe phréatique

Pour utiliser cette technique, il est indispensable d'avoir une nappe phréatique passant sous son terrain. Certaines régions telles que l'Alsace ou encore le Bassin parisien sont particulièrement avantageées dans ce domaine. Cette technique permet d'avoir les COP les plus élevés, cependant il est indispensable de vérifier un certain nombre de paramètres tels que la taille de la nappe, sa profondeur ainsi que son débit constant. La température de l'eau est constante sur l'année (de + 8 °C à + 12 °C). L'eau est acheminée jusqu'à la pompe à chaleur via un puits d'alimentation puis évacuée après passage par la PAC par un puits de rejet situé à une quinzaine de mètres du premier.

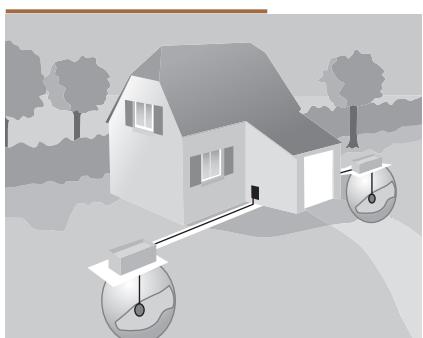
Fig. 7.7

Géothermie captage horizontal et vertical

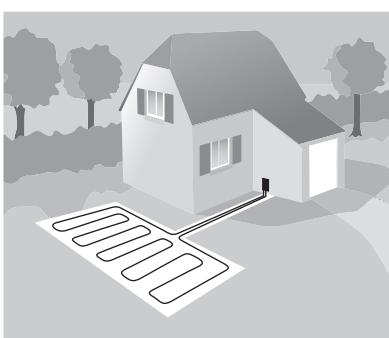
Fig. 7.8

Géothermie sur nappe phréatique

Géo-innovation



Géothermie sur nappe phréatique
Source : Géo-innovation



Captage horizontal

Le captage vertical

La température du sol est constante tout au long de l'année à partir de 15 m de profondeur et elle croît progressivement à partir de 30 m suivant le gradient géothermique. La sonde est composée de deux tubes verticaux parallèles. Ce système ne nécessite que peu de terrain et s'adapte donc parfaitement aux petites surfaces. Un inconvénient toutefois : c'est l'un des systèmes les plus onéreux compte tenu du forage à effectuer.

Le captage aérothermique

On capte les calories contenues dans l'air.

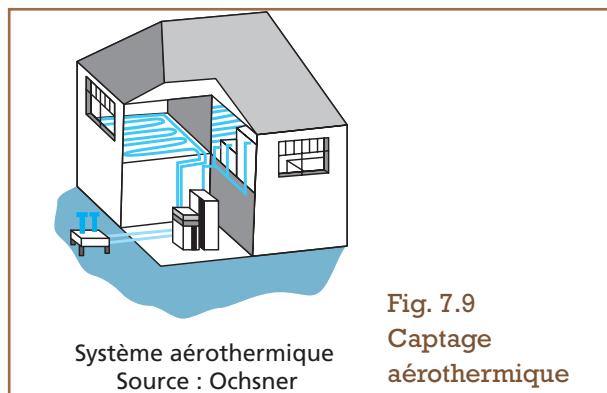
Dans tous les cas, les capteurs sont posés dans le sol pour le captage horizontal à une profondeur de 60 et 80 cm voire plus dans les régions où la terre gèle davantage en profondeur (régions montagneuses). Ils permettent de collecter l'énergie contenue dans le sol et de la transmettre au générateur. Le système le plus courant et le plus facile à installer est le réseau horizontal de capteurs. Pour une maison de 100 m², il faut compter environ 150 à 200 m² de surface de captage. On compte 1,5 à 2 fois la surface de votre maison à chauffer. Il faut savoir que l'on obtient 40 W/m² en horizontal et 15 W/ml en vertical.

Quelles sont les différentes pompes à chaleur ?

Quel que soit l'endroit de France où vous habitez, vous pouvez envisager la mise en place d'une PAC géothermique ou aérothermique pour la production de chauffage avec ou sans production d'eau sanitaire tout au long de l'année et à votre demande ; de plus ce type de chauffage est devenu très modulable.



Captage vertical



Système aérothermique
Source : Ochsner

Fig. 7.9
Captage
aérothermique

Rafraîchissement

En été, vous pouvez utiliser la réversibilité du système en rafraîchissement via le plancher hydraulique. Cela vous permet d'abaisser la température intérieure de 3 à 4 °C mais le ressenti est tout autre puisque vous avez une paroi froide, en l'occurrence le sol. Vous aurez l'impression d'avoir perdu de l'ordre de 5 à 8 °C.

La plupart des PAC sont aujourd'hui réversibles, afin de vous apporter un confort d'été.

Il existe différents types de pompe à chaleur. Votre choix sera fonction du lieu d'implantation de votre construction et de l'environnement proche.

Les PAC sol/sol

Le fluide frigorigène circule dans le capteur enterré et dans le plancher chauffant, à l'intérieur de la maison. Les deux circuits sont indépendants et séparés par la PAC. Cette solution ne permet pas de régler le chauffage pièce par pièce, ni de bénéficier de l'option rafraîchissement. Ce système est aussi appelé « à détente directe ». Le capteur extérieur constitue l'évaporateur et le plancher chauffant, le condenseur. Certains fabricant vous proposent le chauffe-eau, placé entre le compresseur et le condenseur. Ce système peut être installé dans toute la France. Inconvénient : il ne peut être utilisé qu'avec des capteurs horizontaux.

Les PAC sol/eau

Un capteur en tube de cuivre gainé de polyéthylène à l'intérieur duquel circule le fluide frigorigène prélève l'énergie dans le sol. La chaleur est transmise par le fluide frigorigène vers le générateur de la PAC qui libère l'énergie nécessaire au chauffage. La chaleur est acheminée dans la maison par un chauffage à eau chaude traditionnel, par le plancher chauffant ou les radiateurs. Il est intéressant en rénovation puisque vous pouvez travailler en haute température (rendement moindre), et donc couplé à des radiateurs existants.

Les PAC eau/eau

Un capteur à l'intérieur duquel circule l'eau glycolée (avec antigel) permet de capter la chaleur du sol et le transport de l'énergie dans les capteurs. La chaleur est transmise par l'eau vers le générateur de la PAC qui libère l'énergie nécessaire au chauffage de votre habitation.

Les PAC air/eau

Il s'agit de récupérer les calories contenues dans l'air. L'air contient une grande quantité de chaleur résultant de l'ensoleillement mais aussi de l'activité humaine. Cette chaleur est extraite par une PAC, amplifiée et transmise grâce à l'échangeur de la PAC à l'eau de votre circuit de chauffage. Ce système est plutôt intéressant dans les régions moins froides l'hiver. Il existe cependant des matériels performants dont le COP à -10°C est encore de plus de 2.

Tous ces systèmes de pompe à chaleur peuvent être installés dans la France entière pour la production de chauffage voire d'eau chaude sanitaire et/ou de rafraîchissement l'été.

Choisir le bon professionnel

Le chauffage par pompe à chaleur s'est particulièrement développé ces derniers temps et a atteint un niveau de fiabilité important. Pour obtenir entière satisfaction, adressez-vous à des spécialistes de ce type d'installation.

L'entreprise retenue devra faire un diagnostic thermique de votre logement. Ce bilan passe par un calcul des déperditions de manière à pouvoir dimensionner au mieux la pompe à chaleur. Ce type de démarche est un premier gage de sérieux de l'entreprise.

Le plancher chauffant

La majorité des pompes à chaleur fonctionnent en alimentant un plancher chauffant hydraulique basse température. Le coefficient de performance de ce type d'installation est particulièrement bon, de 4,5 à quasiment 6 si la source de prélèvement des calories est une nappe phréatique. Beaucoup vous proposent aussi la fabrication d'eau chaude sanitaire la nuit en période creuse. Cette eau chaude sera stockée dans un ballon tampon que vous utiliserez dans la journée. Vous pouvez produire de l'eau chaude sanitaire à d'autres périodes si le stockage ne s'avère pas suffisant.

Dans votre maison, le chauffage est assuré par un plancher chauffant basse température et/ou par des radiateurs basses températures. Le plancher chauffant présente les meilleurs résultats en termes de confort et de régulation.

Fig. 7.10

Exemple de système de chauffage géothermique à captage horizontal



8> L'eau chaude sanitaire

L'eau chaude sanitaire et les pompes à chaleur

1. Le fonctionnement des pompes à chaleur est expliqué en détail au chapitre précédent, p. 102.

Vous pouvez produire de l'eau chaude sanitaire directement grâce à votre pompe à chaleur¹. Certaines à détente directe donc avec du gaz dans les capteurs et le plancher chauffant proposent cette possibilité mais d'autres fabricants de pompes à chaleur dites classiques donc fonctionnant avec un circuit hydraulique proposent aussi cette possibilité. Votre eau chaude est donc produite la nuit voire durant l'heure de midi en cas de besoin. Tous les systèmes ne proposent pas cette possibilité, il est donc nécessaire de demander au fabricant de matériel si cette option existe et comment s'effectue cette production.

La production d'eau chaude sanitaire sans chauffage

Pour chauffer le ballon d'eau chaude, un tube servant de gaine chauffante peut être enroulé autour du ballon. Il est également possible de mettre un échangeur constitué de plaques en inox.

Attention aux problèmes sanitaires que cela pourrait engendrer. Mieux vaut faire appel à un professionnel pour cette mise en œuvre, car en cas de fuite, le fluide frigorigène pourrait polluer l'eau. C'est justement cette précaution qui rend le système d'eau chaude sanitaire (ECS)

par pompe à chaleur plus délicat. En effet, le réfrigérant et l'eau présentent, à cause de cette double paroi, un écart de température important.

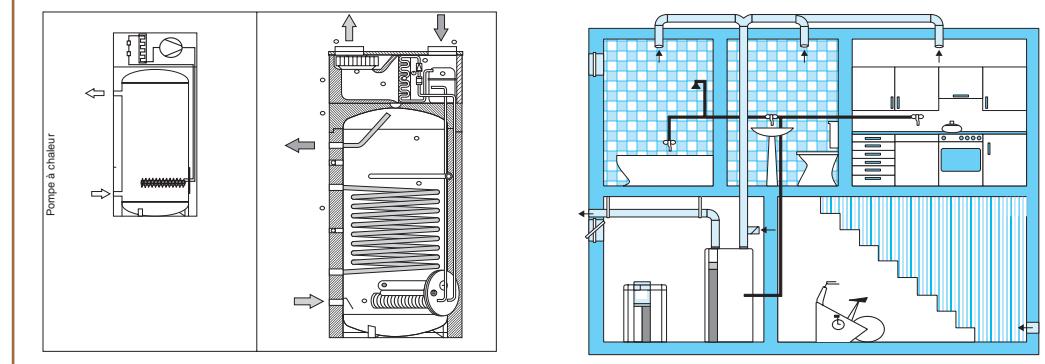
Vous avez aussi la possibilité de produire de l'eau chaude grâce à la VMC pour les habitations d'une surface habitable supérieure à 160 m². En effet, votre VMC rejette chaque jour une quantité d'énergie non utilisée. Le concept proposé capte ces calories et les accumule dans un ballon d'eau chaude. Votre système est donc constitué de votre VMC, d'un ballon de 300 l et d'un générateur thermodynamique. Le COP peut atteindre 4,7 avec un COP moyen de 3,5. Le coût de ce type d'installation est de 3 400 €.

La production d'eau chaude sanitaire avec chauffage

Il est possible de coupler sa production d'eau chaude avec son système de chauffage par pompe à chaleur. Ce système, à l'aide d'une installation complexe mettant en œuvre deux échangeurs (l'un pour le réfrigérant du chauffage et l'autre pour l'ECS), va contrôler automatiquement la température de la PAC en priorisant le chauffage de l'eau.

Cette réalisation est plus délicate à mettre en place mais elle permet un chauffage de l'eau rapide tout au long de l'année. Les coûts étant plus importants – car le dimensionnement doit permettre une bonne puissance de la pompe – le retour sur investissement doit être étudié avec plus d'attention.

Fig. 8.1 – Ballon de production d'eau chaude et exemple d'installation Géo-innovation



Le solaire thermique

Le solaire thermique connaît un engouement important en France, il a été très fortement encouragé par l'Ademe et les points info énergie dépendant de cet organisme en région.

L'objectif de la Commission européenne était d'atteindre les 100 millions de mètres carrés de capteurs en 2010. Cela sera difficile, en revanche il semble possible d'arriver à 50 millions de mètres carrés, dont 18 millions dédiés aux systèmes solaires combinés (SSC), production de chauffage et d'ECS.

Certains pays comme l'Autriche se sont orientés vers les SSC en accompagnant leurs choix politiques d'aides stables. Notons tout de même que la production de ces systèmes est maximale en été, période où l'on en a le moins besoin, sauf pour l'ECS. Ce système est donc adapté aux pays ayant un ensoleillement correct en hiver et des températures douces.

Installer un chauffe-eau solaire

L'installation d'un chauffe-eau solaire permet d'assurer entre 50 et 70 % des besoins en eau chaude sanitaire sur un an pour une famille (la consommation moyenne est de 50 l d'eau chaude sanitaire par personne et par jour).

D'autre part, ce type d'énergie nous permet de lutter efficacement contre l'émission de gaz à effet de serre. En effet, un foyer de quatre personnes émet environ 1 600 kg de CO₂. Si elle utilise l'énergie solaire, la quantité de CO₂ émise par cette même famille n'est « plus que » de 400 kg.

Crédit d'impôts !

Vous pouvez bénéficier d'un crédit d'impôt fixé à 50 % des dépenses engagées avec un plafond de 8 000 € pour une personne célébataire et 16 000 € pour un couple avec des majorations de 400 € par personne à charge.

Il est à noter que le coût des énergies conventionnelles ne cessera pas d'augmenter dans la mesure où les ressources en énergie convention-

nelle s'amenuisent de jour en jour et que la découverte de nouveaux gisements exploitables est de plus en plus improbable.

Fonctionnement d'un chauffe-eau solaire

Le ballon d'eau chaude sanitaire est une cuve métallique bien isolée qui constitue la réserve en eau chaude sanitaire. L'eau chaude soutirée est remplacée immédiatement par la même quantité d'eau froide du réseau qui est à nouveau réchauffée.

Ces systèmes de chauffe-eau solaire sont aujourd'hui extrêmement performants même si l'on peut regretter que le rendement maximal soit obtenu en été, quand on en a le moins besoin.

Capter l'énergie solaire

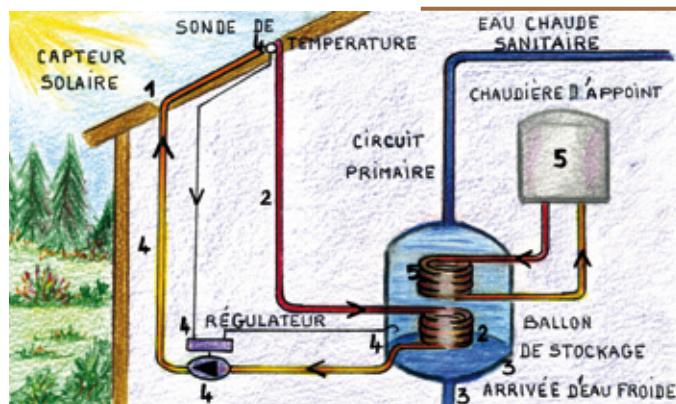
Le capteur solaire est constitué d'une plaque et de tubes métalliques noirs qui absorbent le rayonnement solaire et permettent l'échauffement du liquide circulant dans les tubes. Celui-ci peut atteindre 70 °C par rapport à la température ambiante. Le liquide circulant dans les tubes est de l'eau froide additionnée d'antigel. Le circuit est fermé et on le fait passer par un capteur solaire placé sur votre toit, de préférence orienté plein sud pour récupérer le maximum de chaleur. Il constitue l'absorbeur. Le tout est enfermé dans un réceptacle rigide thermiquement isolé. Sa partie supérieure est équipée d'une vitre résistant aux intempéries (glace, grêlon, etc.), laissant pénétrer les rayons du soleil et retenant la chaleur, un peu à l'image d'une serre.

Bien entendu, il existe différents types de capteur.

Les capteurs plans

Ce type de capteurs possède une puissance de 350 à 400 W/m². Il n'absorbe que les rayons directs se situant à la verticale des capteurs, soit entre 10 h et 16 h. Leur performance diminue dans le temps à cause des poussières, du vent et des polluants de l'air. On ne les utilise que pour la production d'eau chaude sanitaire.

Fig. 8.2
Exemple de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire



Les tubes à flux direct

Leur puissance varie entre 600 et 650 W/m². Ils absorbent les rayons directs, réfléchis et diffus mais mettent plus de temps à monter en température. Ils ne s'altèrent pas avec le temps et leurs verres sont autonettoyants.

Les tubes à caloduc

Leur puissance est de près de 800 W/m². Ils absorbent les rayons directs, réfléchis et diffus à tout moment de la journée et ce quelle que soit l'orientation du soleil. Ils ne s'altèrent pas avec le temps et leurs verres sont autonettoyants.

Bon à savoir

La production d'eau chaude sanitaire par 1 m² de capteur solaire permet d'éviter le rejet dans l'atmosphère de 300 kg de CO₂ par an.

Transporter la chaleur

Un circuit primaire étanche et calorifugé (fluide caloporteur) contenant de l'eau additionnée d'antigel s'échauffe en passant dans les tubes du capteur et se dirige vers le ballon de stockage où il restitue ses calories solaires à un échangeur thermique placé dans le ballon d'eau. Et ainsi de suite, le liquide primaire repart vers le capteur où il est à nouveau chauffé tant que l'ensoleillement est efficace.

Stocker la réserve d'eau chaude

Le ballon de stockage est une cuve métallique très bien isolée qui constitue la réserve d'eau chaude sanitaire. Dès qu'il y a soutirage d'eau chaude, celle-ci est aussitôt remplacée par une quantité d'eau froide identique provenant du réseau et immédiatement réchauffée par le liquide du circuit primaire.

La circulation du liquide primaire peut être naturelle ou forcée. Lorsqu'elle est naturelle, le fluide caloporteur circule grâce à la différence de densité existant entre le liquide du circuit primaire et l'eau du ballon. En effet, puisqu'il est plus chaud donc moins dense que l'eau du ballon, il s'élève naturellement par thermocirculation. Il est à noter que le ballon doit être placé plus haut que les capteurs. Ce système

constitue ce que l'on appelle un chauffe-eau solaire en thermosiphon. Dans le cas d'une circulation forcée, une petite pompe électrique met en mouvement le fluide caloporteur quand sa température est supérieure à celle du ballon, grâce à un dispositif de régulation. Celui-ci joue sur les différences de température. En effet, si la sonde du ballon est plus chaude que celle du capteur, la régulation stoppe la circulation du fluide. Dans le cas où la sonde du ballon a une température inférieure à celle du capteur, le circulateur se remet en fonctionnement et le liquide primaire réchauffe l'eau du ballon.

Chaudière d'appoint

Lorsque l'ensoleillement est insuffisant, comme c'est le cas en hiver, en période de mauvais temps, un dispositif d'appoint pallie le manque d'ensoleillement pour assurer la production d'eau chaude sanitaire. Celui-ci est constitué d'une résistance placée la plupart de temps à mi-hauteur du ballon solaire et d'un serpentin raccordé à une chaudière (bois, fioul ou gaz) situé en aval du ballon. Vous pouvez aussi faire mettre un second ballon doté d'un réchauffeur électrique.

Les différents types de chauffe-eau solaire

Il existe quatre types de chauffe-eau solaire : les chauffe-eau monobloc, à thermosiphon, à circulation forcée et à autovidange.

- Le chauffe-eau monobloc : c'est un chauffe-eau en un seul bloc. Il fonctionne sans pompe et son ballon doit se situer relativement près des panneaux, ce qui est un gros inconvénient.
- Le chauffe-eau à thermosiphon : pour pallier le problème majeur du chauffe-eau monobloc, il est possible d'avoir recours à une technique toute simple, celle du thermosiphon. On positionne les panneaux plus bas que le sol. Comme pour le chauffe-eau monobloc, l'eau circule directement dans les panneaux. L'eau chaude, plus légère, va monter vers le ballon et l'eau froide va descendre.
- Le chauffe-eau à circulation forcée : avec cette solution, plus besoin de positionner son ballon à proximité des panneaux. Un fluide (de l'eau glycolée) est intégré, empêchant l'eau de geler. Ce fluide est récupéré

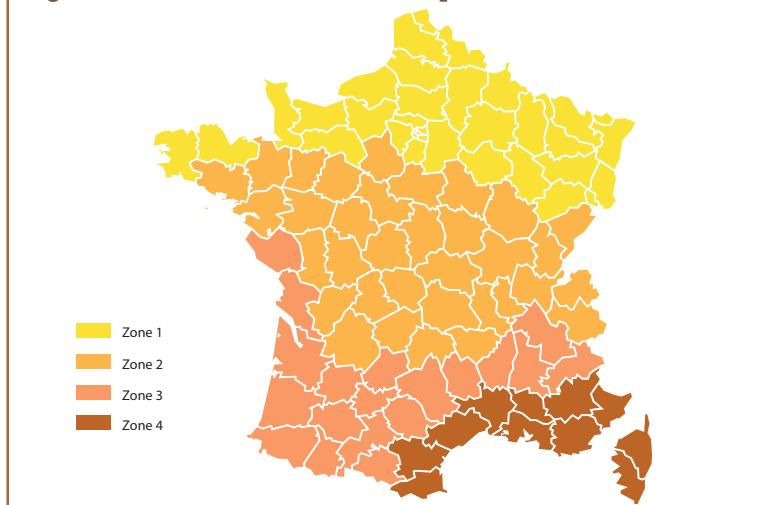
grâce à un échangeur et un serpentin assure la division entre ce fluide et l'eau. Votre eau reste donc intacte.

- Le chauffe-eau à autovidange : comme son nom l'indique, ce chauffe-eau se vidange automatiquement quand il ne fait pas suffisamment chaud. Il se remet en route automatiquement dès que les panneaux se remettent à chauffer.

Dimensionner son système

Voici les nouvelles zones climatiques déterminées pour la RT 2005.

Fig. 8.3 – Carte des zones climatiques RT 2005



Le dimensionnement de votre installation est ce qu'il y a de plus délicat, il est donc extrêmement important de donner les renseignements les plus précis possibles à votre installateur, non seulement au niveau du nombre d'occupants de votre maison, mais aussi de leurs besoins en eau chaude. Précisez si ceux-ci prennent des douches ou des bains, leur fréquence, vos éventuels besoins pour le lavage de la vaisselle à la main ou encore pour tout autre usage que vous jugerez utile de signaler.

Ci-après, un exemple de dimensionnement, sachant que la base de calcul a été une consommation journalière de 50 à 60 l d'eau chaude à 45 °C avec une couverture des besoins grâce au solaire de l'ordre de 50 à 70 %.

Les inconvénients majeurs de cette énergie renouvelable sont, comme nous l'avons vu précédemment, que les meilleurs rendements se situent en été lorsque l'on en a le moins besoin, et que l'énergie solaire nécessite bien souvent une énergie d'appoint électrique, bois-énergie ou encore fioul ou gaz.

Nombre de personnes	1 à 2	3 à 4	5 à 6	7 à 8
Volume du ballon solaire pour un chauffe-eau solaire sans appoint en litres	100 à 150	100 à 250	250 à 350	350 à 500
Volume du ballon d'eau pour un chauffe-eau solaire avec appoint en litres	100 à 250	250 à 400	400 à 550	55 à 650
Zones climatiques	Surface des capteurs (en m ²)			
Zone 1	2 à 3	3 à 5,5	4 à 7	5 à 7
Zone 2	2 à 3	2,5 à 4,5	3,5 à 6,5	4,5 à 7
Zone 3	2 à 2,5	2 à 4	3 à 5,5	3,5 à 7
Zone 4	2 à 2,5	2 à 3,5	2,5 à 4,5	3,5 à 6

Fig. 8.4 – Ensoleillement en été

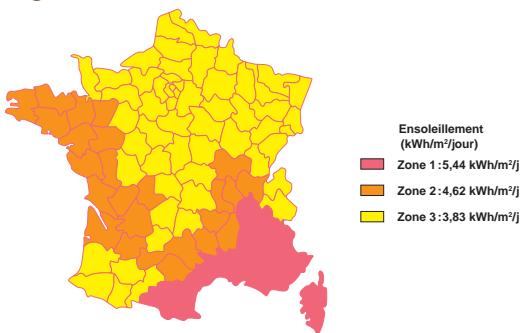
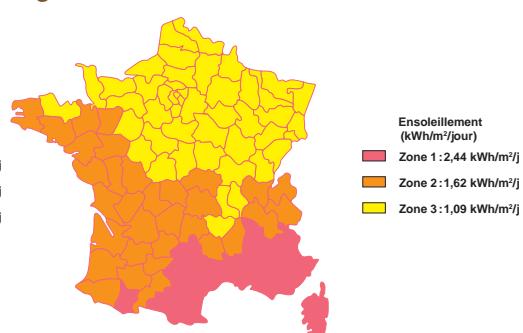


Fig. 8.5 – Ensoleillement en hiver



Combien ça coûte ?

Prenons l'exemple de la fourniture et de la pose d'un chauffe-eau solaire individuel en complément d'une production déjà existante. Il faut compter environ 5 000 € HT pour la pose d'un capteur solaire vitié de 4 m² en toiture, un ballon de stockage de 200 l et tout le matériel de raccordement et de fonctionnement.

Si vous optez pour un chauffe-eau individuel double énergie associé à une production de gaz, fuel ou bois-énergie, il faudra prévoir un capteur solaire en toiture de 4 m², un ballon de stockage bi-énergie de 300 l et un groupe de transfert avec tous les accessoires. Ne sont pas compris le raccordement primaire eau chaude sanitaire entre chaudière et ballon et la production de chaleur choisie.

Le prix de cette installation sera de l'ordre de 5 500 € HT.

La durée de vie d'un système est d'environ une trentaine d'années.

Après déduction des aides à l'investissement et du crédit d'impôts, on estime que le chauffe-eau solaire produira de l'eau chaude sanitaire gratuitement au bout d'une dizaine d'années.

Concrètement parlant, cela signifie que l'installation d'un chauffe-eau solaire peut vous permettre de couvrir 40 à 70 % de vos besoins dans la partie nord de la France et 70 à 95 % dans le sud.

Les systèmes combinés chauffage/eau chaude sanitaire

L'énergie solaire, gratuite, non polluante et inépuisable, peut aussi couvrir une partie des besoins en chauffage de votre habitation. On parle de système solaire combiné. Celui-ci peut couvrir 25 à 60 % de vos besoins annuels en matière de chauffage. C'est ainsi qu'une installation couvrant 52 % des besoins à Marseille (9 300 kWh) économisera 4 830 kWh alors que la même installation placée dans le même type de maison mais à Strasbourg couvrira 30 % des besoins sur une consommation de 16 300 kWh.

Les systèmes de chauffage solaire sont composés de 10 à 30 m² de capteurs, couvrant 10 à 60 % des besoins en chauffage, en plus de l'eau chaude sanitaire. Une option permet aussi de chauffer l'eau de votre piscine aux intersaisons. On estime qu'en utilisant ce type de chauffage pour une maison individuelle, on évite l'émission d'environ 1 200 kg/an de CO₂.

Ce type de chauffage solaire fonctionne quasiment toujours avec un système de chauffage central classique et utilise l'eau préchauffée par le soleil dans la chaudière. Le fluide caloporteur chauffe l'eau du réservoir et repart vers les capteurs. L'eau du réservoir sert à alimenter le système de chauffage. L'eau chaude sanitaire est produite dans un ballon immergé ou par un échangeur de chaleur.

Cependant, le système solaire combiné est plus difficile à mettre en place dans la mesure où l'on a besoin d'eau chaude sanitaire toute l'année, ce qui n'est pas le cas du chauffage. De même, la température de l'eau utilisée dans le circuit de chauffage est plutôt basse (entre 30 et 50 °C) alors que pour l'eau chaude sanitaire elle est beaucoup plus chaude (entre 45 et 60 °C).

Des systèmes palliant ces difficultés ont vu le jour : l'hydro-accumulation par exemple. Ce système consiste à stocker la chaleur produite par les capteurs dans un volume d'eau tampon dans lequel on vient puiser en cas de besoin. L'énergie nécessaire au chauffage est dispersée dans votre habitation soit par des radiateurs basses températures, soit par un plancher chauffant. On parlera alors de plancher solaire direct.

Combien ça coûte ?

La fourniture et la pose d'un système combiné de production d'eau chaude sanitaire solaire et d'appoint par chauffage solaire se décomposent de la manière suivante :

- la mise en place de 10 m² de capteurs solaires ;
- un ballon de 750 l avec isolation thermique ;
- un groupe de transfert avec tous les accessoires ;
- une alimentation eau froide ;
- une vanne d'inversion trois voies sur le réseau de chauffage ;
- le raccordement sur l'installation de chauffage.

Il faut compter 10 000 à 10 500 € HT, à quoi il faudra ajouter la production de chaleur d'appoint choisie et le raccordement primaire eau chaude sanitaire et ballon.

9 > L'électricité

Le photovoltaïque

La production électrique d'origine photovoltaïque est une solution intéressante. En effet, nos besoins en électricité vont croître dans les années à venir compte tenu de la multiplication des équipements, même si on enregistre une baisse régulière des consommations individuelles des appareils. La production d'électricité d'origine photovoltaïque répond parfaitement aux besoins des particuliers mais le coût d'investissement reste assez pénalisant. Le gouvernement a en partie remédié à ce surcoût avec le crédit d'impôts mais aussi et surtout avec l'obligation de rachat par EDF de la production d'électricité d'origine photovoltaïque.

Solaire et maison bioclimatique

En matière d'énergie solaire, plusieurs solutions peuvent vous être proposées, l'eau chaude sanitaire seule et/ou les systèmes solaires combinés pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. Mais avant toute chose, il faut penser à l'utilisation de l'énergie solaire passive : il s'agit d'orienter votre maison, en construction neuve bien sûr, de sorte que vous captiez les rayons solaires en hiver pour préchauffer votre intérieur sans que ceux-ci chauffent à excès en été. Il faut également veiller à choisir des matériaux à forte inertie thermique pour votre structure. C'est ce que l'on appelle construire une maison bioclimatique. Toutes ces mesures sont relativement peu onéreuses et permettent de faire des économies de chauffage assez conséquentes sur la durée de vie du bâtiment.

Contrairement au solaire thermique, le photovoltaïque fournit de l'électricité et non de la chaleur. Cette énergie électrique est issue de la transformation directe de la lumière du soleil en énergie électrique grâce à des cellules de silicium ou d'autres semi-conducteurs placés dans un capteur.

Cette énergie électrique peut soit être stockée dans des accumulateurs appelés batteries et restituée à la demande – notamment si votre habitation se situe sur un site isolé et qu'il n'est pas possible d'être raccordé au réseau – soit être convertie grâce à un onduleur et réinjectée sur le réseau EDF.

Ce type d'installation peut être installé absolument partout, aussi bien en site isolé qu'en ville, sur des toits ou des façades. Certes, ce type d'électricité reste plus cher que l'électricité dite classique mais son prix de production est en baisse continue, notamment grâce à l'obtention de subventions européennes (Phébus), et nationales : le prix de rachat de cette électricité est fixé à 0,55 c€/kWh si votre installation est intégrée au bâti, avec rachat obligatoire via un contrat de la part d'EDF. Des subventions locales peuvent également être accordées.

Principe de fonctionnement

Les capteurs sont en fait ce que l'on appelle des photopiles composées de matériaux semi-conducteurs, en général du silicium, convertissant directement la lumière issue du rayonnement solaire en énergie électrique. Les particules de lumière, encore appelées photons, viennent choquer les électrons sur le silicium et leur transfèrent leur énergie. Le silicium a subi un traitement que l'on appelle dopage, dont le but est d'orienter tous les électrons dans le même sens, comme une diode. Un courant apparaît aux bornes de cette photopile, que l'on transfère au réseau ou à des batteries.

Quels sont les avantages d'une telle installation ?

Sachez que les besoins moyens en électricité pour une famille de quatre personnes sont de 3 000 kW/an. Une installation de 18 à 24 m² de panneaux photovoltaïques peut couvrir la totalité de vos besoins en énergie électrique sur un an, chauffage compris.

On estime que pour une maison de 100 m², la pose de 24 m² de panneaux solaires suffit à la production d'électricité. La consommation électrique ne représentera que 12 % de la consommation totale en énergie du logement.

On notera qu'aucune modification du système de chauffage n'est nécessaire. D'autre part, les crédits d'impôts se cumulent avec les subventions de votre région voire de votre département.

Conditions de rachat de l'électricité

EDF signe avec vous un contrat sur 20 ans, dans lequel il s'engage à racheter votre électricité à 55 c€/kW si vous avez intégré votre système au bâti, et à vous la revendre à 15 c€/kW voire moins.

De plus, l'énergie solaire participe à la lutte contre le réchauffement de la planète et la production de gaz à effet de serre car aucune combustion n'est nécessaire.

En ce qui concerne l'installation photovoltaïque sous forme de tuile, il faut compter un investissement, hors crédit d'impôts, de 20 000 à 22 000 € TTC. Ce sont en fait des modules de 0,5 m² couverts de cellules photoélectriques. Ils sont installés par kit de vingt modules, soit couvrant une surface de 10 m². L'étanchéité de ces modules est parfaite. La puissance potentielle est de 1 kWc (kilowatt-crête) soit une puissance produite de 1 000 kWh par an. Condition optimale : une pente à 30 °C orientée plein sud. La garantie du matériel est de 25 ans à 95 % de rendement.

Les revenus moyens pour une installation de 20 m² sont de 1 100 €/an pour une production de 2 000 kWh, soit un rapport annuel de 10 %

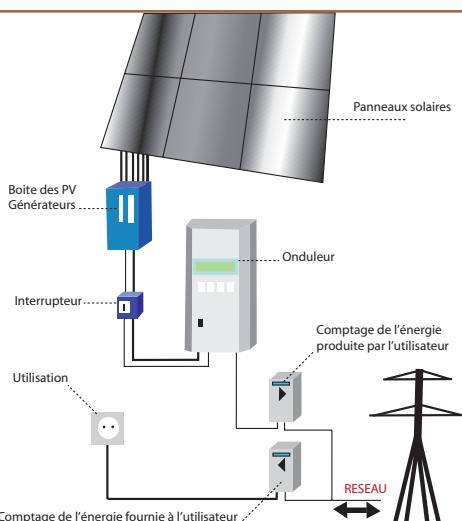


Fig. 9.1 – Revente totale

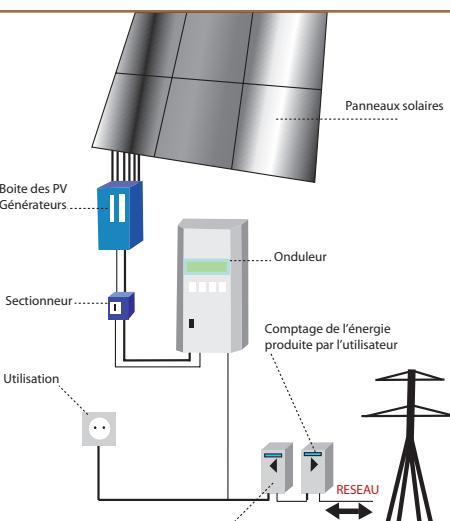


Fig. 9.2 – Revente partielle

environ par rapport à l'investissement de départ, crédit d'impôts inclus, pour un couple sans enfant.

Installation raccordée au réseau

Le principal avantage de ce type de raccordement est de vous éviter de stocker cette électricité dans des batteries. Les panneaux photovoltaïques transforment le rayonnement solaire en électricité. Un onduleur convertit directement l'électricité produite en courant pouvant être réinjecté dans le réseau EDF, qui vous le rachète suivant le contrat signé.

Voici une simulation pour l'installation de 18 ou 24 m² de panneaux photovoltaïques, sachant que vos besoins seront largement couverts.

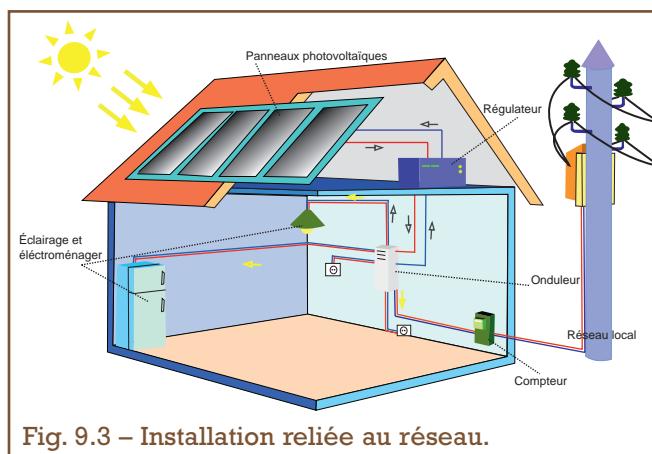


Fig. 9.3 – Installation reliée au réseau.

© Ecosolar

Tableau d'amortissement sans aides régionales

Surface de panneaux solaires en m ²	18 m ²	24 m ²
Quantité d'électricité produite/jour en moyenne	7,5 kWh	10 kWh
Quantité d'électricité produite/an en moyenne	2 737,5 kW	3 650 kW
Prix de revente à EDF	$2\ 737,5 \times 0,55 = 1\ 505,62 \text{ €}$	$3\ 650 \times 0,55 = 2\ 007,50 \text{ €}$
Prix d'achat à EDF	$2\ 200 \times 0,15 = 330 \text{ €}$	$2\ 200 \times 0,15 = 330 \text{ €}$
Bénéfice estimé sur un an	$1\ 505,62 - 330 = 1\ 175,62 \text{ €}$	$2\ 007,5 - 330 = 1\ 677 \text{ €}$
Coût de l'investissement du matériel (panneaux + structure des modules et onduleur)	$(760 \times 18) + 2\ 603\ 1\ 890 + = 18\ 173 \text{ € HT soit } 21\ 734,90 \text{ € TTC}$	$(760 \times 24) + 2\ 603 + 1\ 890 = 22\ 733 \text{ € HT soit } 27\ 188,67 \text{ € TTC}$
Crédit d'impôts	8 000 €	8 000 €
Coût de l'installation avec formalités	4 000 €	4 000 €
Coût de revient total après abattement	17 734,90 € TTC	23 188,67 € TTC
Temps de retour sur investissement en année	15 ans	12 ans et 10 mois

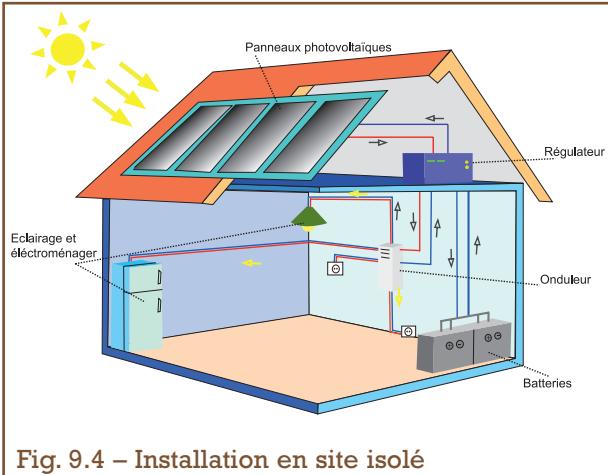


Fig. 9.4 – Installation en site isolé

Le temps de retour sur investissement ne tient pas compte des aides régionales car celles-ci varient d'une région, voire d'un département, à l'autre.

Installation en site isolé

Ce type de production est intéressant en site isolé. Il suffira de raccorder votre système de panneaux à des batteries. Le coût est élevé puisqu'il est nécessaire d'envisager l'achat d'un générateur d'une puissance moyenne de 1 800 Wc pour une application domestique dont le coût

varie entre 20 000 et 40 000 € suivant les spécificités du site d'implantation. Il est donc nécessaire de s'équiper d'appareils économes en énergie. Le coût du générateur est en partie compensé par une aide au financement de la part de différentes entités telles que EDF, l'Ademe, mais également venant des régions et des départements. Des aides européennes sont également possibles. Au final le coût de revient réel pour le consommateur sera de 5 % du montant indiqué ci-dessus. Dans tous les cas, un contrat est signé avec EDF, qui a en charge l'entretien, le dépannage et le renouvellement du parc de batteries quand cela est nécessaire.

Coût d'une installation photovoltaïque pour maison individuelle

Pour une maison individuelle, il faut compter une installation de 3 kWc, intégrée au bâti de manière à avoir le tarif de rachat le plus intéressant.

On comptera une surface de tuiles photovoltaïques d'à peu près 25 m² pour une production d'environ 130 Wc. Ensuite, il faut envisager un onduleur dont le rôle est de transformer le courant continu produit par les panneaux en courant alternatif pouvant être réinjecté sur le réseau.

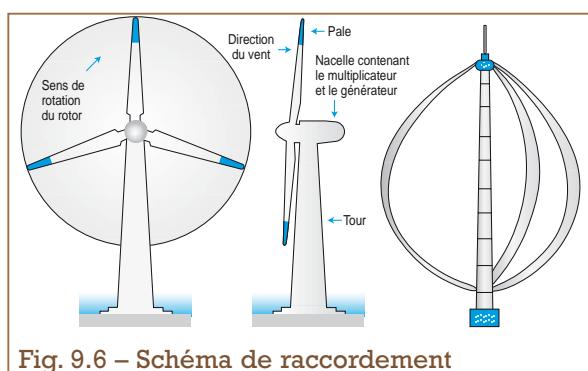
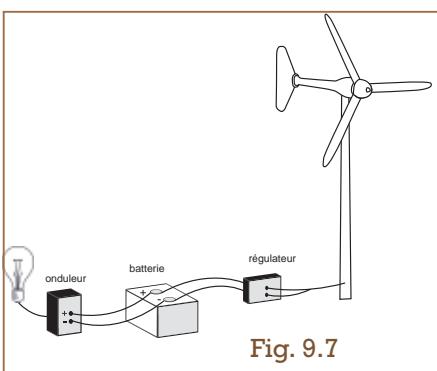
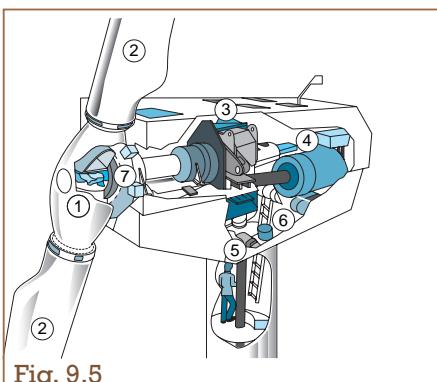
La puissance de l'installation est d'environ 3 000 Wc et la puissance de sortie de 2 500 W.

le prix d'une telle installation est de l'ordre de 25 000 € dont 21 000 € de matériel auxquels peut s'appliquer le crédit d'impôts¹ ou les aides régionales.

L'éolien

Comment fonctionne une éolienne ?

Une éolienne est composée d'un aérogénérateur transformant une énergie mécanique en énergie électrique. L'énergie fournie par la force du vent fait tourner les pâles par l'intermédiaire d'une génératrice qui est en fait un alternateur de courant continu. Ce courant subit ensuite une transformation dans le convertisseur de courant alternatif puis est directement réinjecté dans le réseau. Un vent de 4 m/s est nécessaire pour permettre à l'éolienne de produire de l'énergie.



1. Le crédit d'impôts pour une installation photovoltaïque est d'une valeur de 50 % des dépenses. Bien entendu, il est plafonné (8 000 € pour une personne célibataire, 16 000 € pour un couple et 400 € supplémentaire par personne à charge). Il est soumis à certaines conditions : l'installation doit être faite par un professionnel et doit équiper votre résidence principale ; le matériel acquis doit respecter la norme EN 61215 ou NF EN 61640 ; la puissance de l'installation ne doit pas excéder 3 kWc en cas de revente totale et ne doit pas excéder le double de votre consommation en cas de revente partielle.

Les particuliers peuvent installer chez eux un système autonome pouvant produire plusieurs dizaines de kilowatts. Ce système peut être raccordé ou non. Sachez que pour une éolienne de plus de 12 m de haut, vous serez obligé de faire une demande de permis de construire.

Que dit la loi ?

La loi Pope du 13 juillet 2005 abroge le seuil des 12 MW nécessaires à l'obligation de rachat par EDF de l'électricité produite. Elle définit des zones de développement de l'éolien. Le dispositif d'obligation de rachat (8,2 centimes d'euro par kWh) est désormais réservé aux installations implantées dans le périmètre des zones dites de développement de l'éolien (ZDE). Ces zones sont arrêtées par les préfets sur proposition des communes concernées, en fonction de leur potentiel éolien, des possibilités de raccordement aux réseaux électriques, de la préservation des paysages, des monuments historiques et des sites remarquables et protégés. Une transition d'une durée de deux ans doit permettre une évolution sans difficulté du système actuellement en vigueur vers le système des ZDE.

Sous quelles conditions ?

-
1. Vous devez vous informer auprès de la Direction régionale de l'environnement (Diren) locale de la possibilité d'installer une éolienne à l'endroit que vous avez choisi.
 2. Le crédit d'impôts attribué pour l'installation d'éolienne est assez faible et ne vous sera accordé que si l'il s'agit de votre résidence principale. Votre production doit être inférieur à 3 kilowatts, vous ne devez pas avoir construit vous-même votre éolienne mais l'avoir acheté à un professionnel et en présenter la facture. Les aides financières moins importantes pour l'éolien peuvent être compensées par la revente de votre production au réseau.

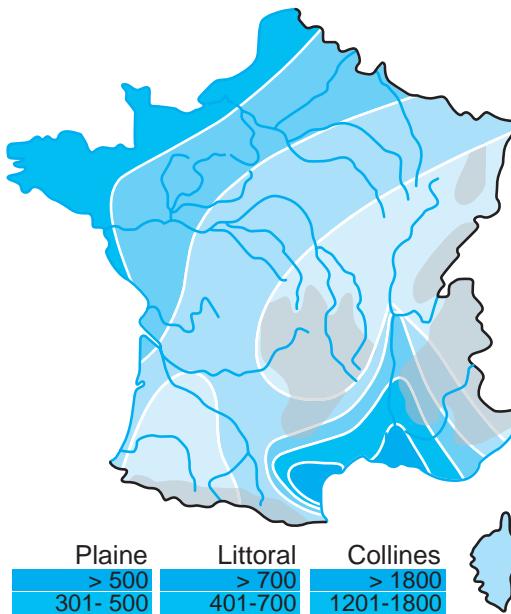
Avant d'envisager l'installation d'une éolienne, il est impératif de savoir si l'endroit où vous désirez l'installer est suffisamment venteux. Il faut savoir qu'il est nécessaire d'avoir un site à 7 m/s de vent moyen pour assurer une certaine rentabilité en cas de choix de revente au réseau¹.

D'autre part, votre éolienne doit se situer à une distance de moins de 1 km d'une ligne moyenne tension pour pouvoir transférer l'énergie, au-delà le prix du raccordement ne permettrait pas une rentabilité correcte.

L'espace doit être suffisant pour implanter un aérogénérateur : il doit se situer à plus de 500 m de toute habitation pour une éolienne moyenne.

Le petit éolien est caractérisé par des machines fournissant de 0 à 60 kW. Le bruit généré par une éolienne est de l'ordre de 45 dB.

Le coût au kilowatt installé de ce type de machine est de plus de 2 000 €/kW. En clair, cela signifie que si vous faites le choix d'installer une machine de 5 kW, il vous en coûtera plus de 10 000 €².



www.demain-la-terre.net 2005

Fig. 9.8 – Carte de répartition des vents



Partie 4

Les autres postes à économie d'énergie

10 > L'éclairage

En ce qui concerne les luminaires, on suivra les principes de la RT 2005. On optimisera la gestion de l'éclairage par la prise en compte des apports en lumière naturelle et l'utilisation d'ampoules fluocompactes ou basses consommations dans les endroits restant allumés soit en permanence, soit plus de 3 h par jour. On pensera aussi à mettre en place des détecteurs de présence en extérieur, des lampes à accumulation solaires pour le bornage, etc.

Une bonne utilisation de l'éclairage

Lorsque vous devez changer vos appareils électriques, il est important de les remplacer par des appareils de classe A ou A+. Ces sigles signifient que vos appareils sont plus économies en électricité.

Quelques conseils

Adaptez les ampoules aux besoins. Par exemple, en réservant les ampoules halogènes à forte puissance aux activités nécessitant beaucoup de lumière et les ampoules basses consommations ou halogènes très basses tensions aux éclairages d'ambiance.

Installez des ampoules fluocompactes ou des lampes basses consommations dans les endroits ayant une durée d'utilisation assez élevée.

Équipez les endroits de passage et les locaux de service (cave, garage) de systèmes de va-et-vient judicieusement placés ou de détecteurs de présence.

Veillez à ne pas laisser vos appareils en veille. En effet, il est prouvé que la mise en veille vous coûte plus cher en électricité que votre consommation annuelle réelle : 5 h de veille = 1 h d'utilisation.

Sachez qu'une lampe à économie d'énergie vous permettra de réduire considérablement votre facture d'électricité car :

- une lampe à économie d'énergie (fluocompacte ou basse consommation) consomme 3 à 5 fois moins d'électricité qu'une lampe incandescente classique ; vous pouvez toujours mettre une lampe basse consommation sur un luminaire n'acceptant que des lampes incandescentes ;
- sa durée de vie est 6 à 10 fois supérieure à celle d'une ampoule à incandescence classique ;
- les lampes basses consommations sont certes plus chères à l'achat mais la différence de prix est très vite amortie compte tenu du très faible coût d'utilisation ; ces lampes ne dégagent quasiment pas de chaleur et respectent davantage l'environnement.

Les différentes sources

Le coût de chacune des sources a été calculé sur la base de l'équivalence d'une ampoule de 100 W incandescente.

Installation

Il est important et maintenant obligatoire d'avoir un certain nombre de disjoncteurs différentiels 30 mA. Leur nombre est fonction de la surface de votre habitation. Ceux-ci ont pour unique vocation de protéger les personnes en cas de contact avec un fil de phase ou de fuite de courant.

L'interrupteur différentiel de type AC est déterminé en fonction de l'abonnement EDF que vous avez choisi. La puissance souscrite doit être de 40 ou 63 A.

Un interrupteur différentiel de 63 A est obligatoire si vous avez fait le choix du chauffage électrique et que la puissance de celui-ci est supérieure à 8 000 W.

L'interrupteur de type A assure la protection des appareils ménagers présents dans votre cuisine.

Surface habitable	Nombre et type d'interrupteur différentiel
$S < 35 \text{ m}^2$	1 interrupteur différentiel de type AC + 1 interrupteur différentiel de type A
$35 < S < 100 \text{ m}^2$	2 interrupteurs différentiels de type AC + 1 interrupteur différentiel de type A
$S > 100 \text{ m}^2$	3 interrupteurs différentiels de type AC + 1 interrupteur différentiel de type A

Le tableau ci-dessous vous résume les avantages, les inconvénients et les coûts des différentes sources :

Sources	Avantages	Inconvénients	Coût
Incandescence classique	Peu onéreuse Formes variées (flamme, sphérique ou classique)	Dégage beaucoup de chaleur et efficacité lumineuse médiocre	1 h d'éclairage avec une ampoule de 100 W = 1,14 c€
Incandescence halogène	Agréable dans les pièces de vie (salon) Bien adaptée pour la lecture ou les travaux minutieux	Dégage beaucoup de chaleur Chère à l'usage	1 h d'éclairage avec une ampoule de 500 W = 5,72 c€
Lampe fluocompacte	Consomme 4 à 6 fois moins d'électricité à quantité de lumière égale Durée de vie 8 à 10 fois plus importante Bon rendu des couleurs Peu de chaleur dégagée	A besoin d'un certain temps pour atteindre sa puissance maximale Plus chère à l'achat Peu décorative À utiliser dans les pièces nécessitant plus de 3 h d'éclairage par jour	1 h d'éclairage avec une ampoule de 20 W donc équivalent à 100 W incandescent = 0,23 c€
Tube fluorescent	Consomme 4 à 6 fois moins d'électricité à quantité de lumière égale Durée de vie 8 à 10 fois plus importante Plusieurs couleurs de lumière existent	Plus fonctionnel que décoratif À utiliser dans les pièces nécessitant plus de 3 h d'éclairage par jour	1 h d'éclairage avec un tube de 18 W et de 60 cm = 0,29 c€

Les différentes catégories de ballast

La lampe ballast e-Kyoto : ballast électronique intégré au coût relativement modique, dont l'inconvénient majeur est de ne pouvoir être allumé que trois fois par jour maximum. Il est donc adapté à des endroits allumés en permanence, des dépôts, des lieux de circulation dans des endroits publics ou des pièces très peu utilisées. Vous pouvez utiliser ce type de ballast pour une cave, un débarras ou encore un garage.

Ballast de type A1 : ballast servant à la gestion de l'éclairage, encore appelé « éclairage intelligent » comme des cellules asservies aux apports du jour ou luminosité ou à la présence de personnes.

Ballast de type A2 : ballast électronique dit à cathode chaude donc avec « préchauffage » du tube, impliquant de fait une durée de vie plus longue de celui-ci. Ce type de ballast est celui qui concerne le plus les particuliers.

Ballast de type A3 : ballast électronique à cathode froide.

Baisse des charges électriques des logements

On veillera à la réduction des veilles en installant des prises de courant commandées par interrupteur.

La salle d'eau principale dispose d'une surface vitrée et translucide équivalant au sixième de la surface au sol du local et donnant sur l'extérieur. Cette disposition améliore le confort et est de nature à éviter le recours systématique à l'éclairage artificiel dans la journée.

Enfin, la réduction de l'usage thermique de l'électricité se fera par la mise en place d'une double alimentation du lave-vaisselle EF/EC permettant l'utilisation de l'eau chaude collective produite par la géothermie.

11 > L'eau

Une maison « zéro énergie » n'est pas uniquement une maison ne consommant pas d'énergie : vous pouvez aussi faire en sorte que votre maison consomme le moins d'eau possible.

En ce qui concerne l'utilisation de l'eau par les particuliers, il apparaît qu'un consommateur français utilise en moyenne entre 150 et 200 l d'eau par jour.

La répartition de cette consommation se fait approximativement de la façon suivante :

- 39 % pour la toilette, soit 58,5 à 78 l, sachant que l'on consomme en moyenne 5 l au lavabo, 70 l pour une douche et 150 l pour un bain ;
- 20 % pour les sanitaires, soit 30 à 40 l, sachant qu'une chasse d'eau classique consomme 10 l ;
- 12 % pour le lavage du linge, soit 18 à 24 l, sachant qu'un lave-linge consomme 80 l par lavage machine ;
- 10 % pour le lavage de la vaisselle, soit 15 à 20 l, sachant qu'un lave-vaisselle consomme 40 l par lavage machine ;
- 6 % pour la préparation de la nourriture, soit 9 à 12 l ;
- 6 % pour les usages domestiques divers (ménage, etc.), soit 9 à 12 l ;
- 1 % pour la boisson, soit 1,5 à 2 l par jour.

Il est à noter que l'eau potable arrivant au robinet et donc consommable pour la boisson a un coût de l'ordre de 0,0026 centimes d'euros par litre. Elle revient donc 100 fois moins cher que l'eau minérale, à laquelle les usagers ont pourtant de plus en plus recours.

Mise en place d'économiseurs d'eau

La réduction de votre consommation d'eau peut aussi passer par l'installation d'économiseurs d'eau.

Leur mise en place est extrêmement simple, tout le monde peut le faire, que ce soit en appartement ou dans une maison particulière.

Ce système est équipé d'un joint torique qui réduit le débit de votre robinet à 6 ou 8 l par minute au lieu de 12 l par minute, et ce quelle que soit la pression de départ. Quand la pression décroît à votre robinet, le joint torique augmente le passage de l'eau, ce qui vous permet de conserver un débit constant.

La régulation se fait ainsi dans les deux sens.

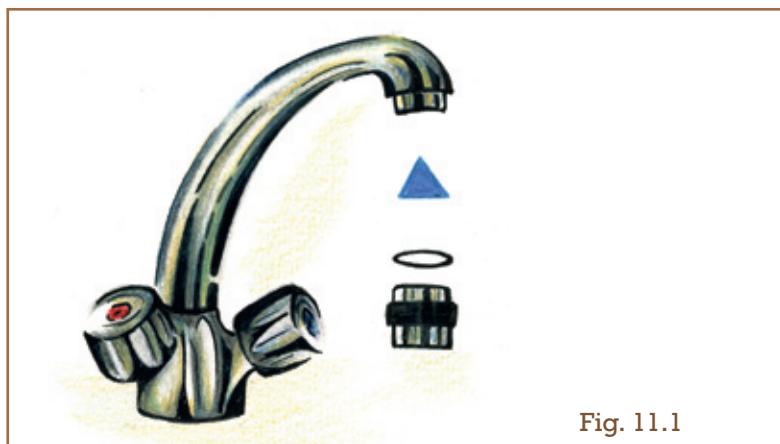


Fig. 11.1

© Françoise Donzé

Économiseurs d'eau pour lavabo

Installation

Dévissez la bague se situant au bout du robinet (l'embout par lequel sort l'eau).

Nettoyez le pas de vis de votre robinet pour éliminer tous les dépôts, en particulier le tartre.

Placez l'économiseur d'eau dans l'embout et vissez sur le robinet. Terminez à la clé sans forcer.

Économie possible par robinet

Un robinet de lavabo coule en moyenne 10 min par jour avec un débit de 12 l/min, soit 120 l par jour.

Sans économiseur : $120 \text{ l} \times 365 \text{ J} = 43\,800 \text{ l}$ d'eau par an

Avec économiseur : $60 \text{ l} \times 365 \text{ J} = 21\,900 \text{ l}$ d'eau par an

Vous pouvez donc économiser 21 900 l d'eau par an.

Sachant que le prix moyen du mètre cube est de 2,62 €, vous pouvez effectuer une économie de :

$$21,9 \times 2,62 = 57,38 \text{ €/an}$$

Le prix d'un système complet d'économiseur d'eau pour un robinet est de 11 €. L'amortissement de ce système est donc très rapide.

Économiseurs d'eau pour douche

Une douche classique débite environ 18 l d'eau par minute. L'économiseur de douche permet de réduire le débit à 10 l/min.

La régulation du débit se fait comme pour le robinet par joint torique et le système étoile répartit de façon égale l'eau en accroissant la sensation de confort au niveau du jet.

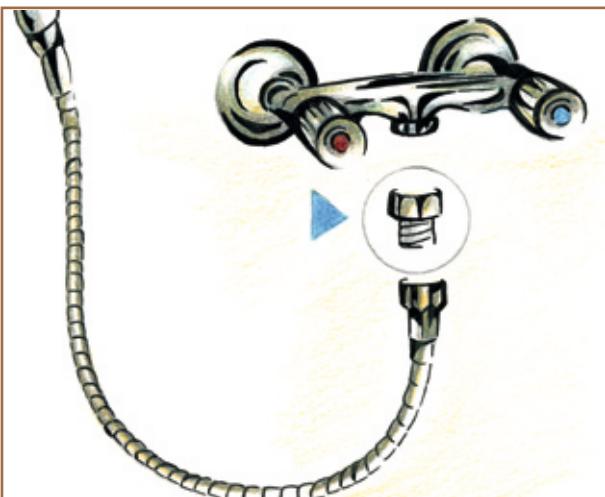


Fig. 11.2

Installation

L'économiseur de douche s'installe entre le mitigeur et le flexible ou à la base de la douchette.

Dévissez la bague à la main ou à l'aide d'une clé et retirez l'ancien joint.

Nettoyez le pas de vis du robinet.

Vissez le régulateur de débit sans oublier le joint entre le robinet et le flexible de douche.

La structure des limiteurs est étudiée de manière à ce que le calcaire ne puisse pas s'incruster sur cette structure plastique. Cette quasi absence de calcaire limite le développement des bactéries.

Économie possible par douche

Nous partirons sur la base d'une douche de 10 min par jour, soit 180 l d'eau chaude et froide par douche.

Sans économiseur : $180 \text{ l} \times 365 \text{ J} = 65\,700 \text{ l d'eau/an}$

Avec économiseur : $100 \text{ l} \times 365 \text{ J} = 36\,500 \text{ l d'eau/an}$

Vous pouvez donc économiser 29 200 l d'eau par an et par personne à raison d'une douche par jour.

Le prix moyen d'un mètre cube d'eau étant de 2,62 €, vous pouvez économiser :

$29,2 \times 2,62 = 76,50 \text{ €/an/pers. à raison d'une douche de 10 min par jour.}$

Le prix d'un système complet d'économiseur d'eau pour une douche est de 11 €. L'amortissement est donc très rapide¹.

-
1. En achetant du matériel de récupération d'eau de pluie, vous bénéficierez d'un crédit d'impôts de 25 % des dépenses (pour tout achat effectué après le 1^{er} janvier 2007). Ce crédit s'applique à la fois sur le coût du matériel et de l'installation, et comme les autres postes à économies d'énergie, il est soumis aux conditions suivantes :
 - recours à des professionnels pour l'installation ;
 - présentation des factures ou attestation du constructeur.

Installation d'un système de récupération d'eau de pluie extérieur

Si vous êtes propriétaire d'une maison avec un jardin, il vous est possible de récupérer l'eau de pluie via les descentes de chéneau pour arroser vos fleurs, votre jardin, laver la terrasse ou la voiture, voire alimenter vos toilettes et/ou votre lave-linge.

Nous allons vous détailler ci-dessous différents systèmes de récupération d'eau pluviale, du plus simple au plus performant, en essayant de vous préciser à chaque fois le prix ainsi que les conditions d'installation et les économies potentielles générées.

Il est important d'évaluer vos besoins en matière de récupération d'eau de pluie mais aussi et surtout de savoir ce que vous voulez faire avec cette eau.

En effet, votre installation ne sera pas la même si vous destinez l'eau de pluie à l'arrosage de quelques plantes, de votre jardin, et/ou au lavage de votre voiture, à l'alimentation de vos toilettes ou encore à l'alimentation de votre lave-linge.

Quelles que soient la saison et la région, vous pouvez récupérer entre 30 et 85 l/m² de toiture et par mois. On estime que l'on peut récupérer 600 l/m²/an où que vous soyez en France, y compris dans le sud où un orage suffira à remplir votre cuve.

La taille de votre cuve ne sera pas la même au sud de Lyon, où il pleut moins souvent mais où la pluie est plus abondante, qu'au nord, où les pluies sont plus fréquentes mais moins abondantes. Au sud on utilisera des cuves plus grosses qu'au nord.

Les résultats seront meilleurs si votre toit est fait de tuiles, de béton, d'ardoises ou de verre.

Demandez à un professionnel d'effectuer le dimensionnement de votre cuve. En effet, celui-ci tiendra compte des conditions climatiques, de la surface de collecte (toit) et de l'utilisation que vous allez faire de cette eau.

Il faut savoir qu'en cas de sécheresse prolongée, un dispositif spécial alimentera automatiquement votre citerne en eau potable afin de ne pas endommager votre système.

Vous pourrez avoir un ordre d'idée des hauteurs de précipitations suivant l'endroit de France où vous habitez en consultant la carte ci-dessous.

Dimensionner sa cuve

N'hésitez pas à vous adresser au centre Météo-France dont dépend votre domicile afin d'obtenir les données pluviométriques concernant les cinq dernières années, de manière à avoir les informations les plus fiables possibles. Vous pourrez ainsi dimensionner au mieux votre cuve.

Ordre d'idée des besoins annuels

Usage	Besoin annuel
Chasse d'eau de 11 l	Environ 8 000 l/pers.
Lave-linge (120 l)	Environ 3 600 l/pers.
Jardin (17 l/m ²)	Environ 6 000 l/m ²
Arrosage divers (pelouse, etc.)	60 l/m ²
Nettoyage et lavage (voiture, terrasse)	Environ 800 l/pers./an (190 l pour laver une voiture)

L'investissement que vous déciderez de réaliser dépendra de l'usage que vous ferez de l'eau recueillie. Si vous possédez un petit jardin avec quelques fleurs voire quelques légumes et que vous destinez votre eau de pluie à ces plantations, il est évident que vous ne choisirez pas une installation de type kit jardin ou habitat.

De nombreuses possibilités en matière d'installation s'offrent à vous. La plus simple consiste à recueillir l'eau et à la filtrer en mettant un collecteur filtrant sur votre descente de chéneau, et à la recueillir dans une cuve dotée d'un robinet.

Vous creuserez une fosse suffisamment profonde pour disposer la ou les cuves. Elles seront posées sur un lit de sable, ce qui leur conférera une certaine stabilité et limitera les déformations de la cuve. Il est indispensable de placer dans la cuve un tuyau de maintien pour éviter les déformations. Veillez à ce que le sol soit le plus plat possible.

Système à enterrer avec réservoir

Un réservoir peut se placer en intérieur comme en extérieur, ou encore être enterré. Sa capacité peut aller jusqu'à 1 600 l mais vous pouvez les jumeler sans aucun problème si vous désirez augmenter vos capacités de stockage. Il est en polypropylène, d'un poids de 60 kg et se compose de deux coques, pouvant être adaptées à différentes tailles de manchon : 70, 100 et 200 mm. L'étanchéité est assurée par un joint à lèvres spécial et certifié, et le montage de la cuve se fait en quelques minutes grâce aux 24 clips de serrage. Le réservoir doit être vidé en hiver s'il n'est pas enterré. Le prix du réservoir seul est de 290 €.

C'est sans aucun doute le système le moins onéreux si vous souhaitez récupérer l'eau et l'utiliser uniquement pour un usage extérieur tout en ayant le confort d'un arrosage au tuyau avec une petite pression.

Partie 5

Annexes

Vous retrouverez l'intégralité des textes de lois relatifs à la RT 2005
sur le site www.legifrance.gouv.fr.

› Législation et crédit d'impôts

Définitions

Les modalités d'applications des règles édictées à l'article R.111-20 du code de la construction et de l'habitation ne concernent pas :

- les bâtiments et parties de bâtiment dont la température normale d'utilisation est inférieure ou égale à 12 °C ;
- les constructions provisoires prévues pour une durée d'utilisation de moins de deux ans ;
- les bâtiments nécessitant des règles particulières.

La consommation conventionnelle d'énergie d'un bâtiment s'exprime sous la forme d'un coefficient (noté Cep). Celui-ci est calculé annuellement en adoptant des données climatiques conventionnelles pour chaque zone climatique.

La température intérieure conventionnelle (Tic) atteinte en été est la valeur maximale horaire en période d'occupation.

La justification de la valeur des caractéristiques thermiques des produits peut être apportée par référence aux normes ou agréments techniques européens. Ils comportent alors l'apposition du marquage CE.

La justification des caractéristiques des produits en provenance de la Communauté européenne et des pays AELE (Association européenne de libre-échange) parties contractantes de l'accord EEE (Espace économique européen) peut être apportée par référence à :

- une norme internationale dont l'application est autorisée dans l'un de ces pays ;
- une norme émanant d'un organisme de normalisation national ou équivalent ;

- une règle technique d'application obligatoire pour la fabrication, la commercialisation ou l'utilisation dans l'un de ces pays ;
- un procédé de fabrication traditionnel, novateur faisant l'objet d'une documentation technique suffisamment détaillée.

On distingue deux catégories de locaux relativement au confort d'été et au refroidissement :

- les locaux de catégorie CE1 pour lesquels les consommations de référence liées au refroidissement sont nulles ;
- les locaux de catégorie CE2, qui ne sont pas soumis aux exigences de confort d'été.

Est estimé satisfaisant tout bâtiment neuf pour lequel le maître d'ouvrage est en mesure de montrer que :

- le coefficient Cep du bâtiment est inférieur ou égal au coefficient de référence de ce bâtiment ;
- la consommation conventionnelle d'énergie est inférieure ou égale à un coefficient maximal ;
- les caractéristiques de l'isolation thermique des parois, des baies, des équipements de chauffage, de ventilation, d'eau chaude sanitaire, de refroidissement, d'éclairage et des protections solaires sont au moins égales aux caractéristiques thermiques minimales.

Les bâtiments dont les produits de construction et la mise en œuvre sont conformes aux procédés et solutions techniques respectent la réglementation. À l'exception de ceux-ci, le maître d'ouvrage doit pouvoir fournir toutes les données utilisées pour les calculs puis une synthèse d'étude thermique avant l'achèvement des travaux.

Caractéristiques thermiques de référence

L'inertie

L'inertie quotidienne de référence est une inertie moyenne, tandis que l'inertie séquentielle de référence est une inertie très légère.

Les surfaces et orientations des parois

Pour le calcul de Cepréf :

La surface des baies prise en référence est égale au sixième de la surface habitable pour les bâtiments d'habitation. Pour les maisons individuelles, les baies sont verticales et orientées pour 20 % au nord, à l'est et à l'ouest et pour 40 % au sud. Pour les autres bâtiments, les baies sont verticales et réparties également sur les quatre orientations.

L'isolation thermique

Les déperditions thermiques d'un bâtiment par transmission à travers les parois et baies sont caractérisées par le coefficient moyen de déperdition appelé $U_{bât}$. Celui-ci prend en compte la surface des parois verticales opaques, des planchers bas et hauts, des toitures, des portes, des parois transparentes des bâtiments résidentiels et non résidentiels ; mais aussi la surface des linéarités de la liaison périphérique des planchers bas avec mur, des planchers intermédiaires et des planchers hauts en béton.

La perméabilité à l'air

La perméabilité à l'air sous 4 Pa de l'enveloppe extérieure d'un bâtiment, prise en référence et rapportée à la surface de l'enveloppe, est fixée de la manière suivante :

- 0,8 $m^3/(h.m^2)$ pour les maisons individuelles ;
- 1,2 $m^3/(h.m^2)$ pour les autres bâtiments d'habitation ;
- 2,5 $m^3/(h.m^2)$ pour les autres usages.

La ventilation

Le système de ventilation de référence est tel que le même air extérieur sert à ventiler successivement les locaux contigus ou séparés uniquement par des lieux de circulations.

Pour les locaux d'habitation chauffés par effet joule, le système de ventilation de référence est un système de modulation des débits de ventilation. Il permet de réduire de 25 % les déperditions énergétiques dues à la ventilation spécifique. Les autres locaux d'habitation obtiennent une réduction de l'ordre de 10 %.

les autres locaux contiennent un système dont les débits entrants et sortants sont égaux.

Caractéristiques thermiques minimales en matière d'isolation

Chaque paroi d'un local chauffé dont la surface est supérieure ou égale à 0,5 m², donnant sur l'extérieur, sur un volume non chauffé ou en contact avec le sol, doit avoir un coefficient de transmission thermique U (en W/(m².K)) inférieur ou égal à la valeur maximale donnée :

- murs en contact avec l'extérieur ou avec le sol : 0,45 ;
- murs en contact avec un volume non chauffé : 0,45 ;
- planchers bas donnant sur l'extérieur ou sur un parking : 0,36 ;
- planchers bas donnant sur un vide sanitaire ou sur un volume non chauffé : 0,40 ;
- planchers hauts en béton ou en maçonnerie et toitures en tôles métalliques étanchées : 0,34 ;
- planchers hauts en couverture en tôles métalliques : 0,41 ;
- autres planchers hauts : 0,28 ;
- fenêtres et portes-fenêtres : 2,60 ;
- façades rideaux : 2,60 ;
- coffres de volets roulants : 3.

Le crédit d'impôts : quel taux pour quoi ?

Le crédit d'impôts a été créé dans le but d'encourager les citoyens à faire installer des matériels de production d'énergie d'origine renouvelable et d'accentuer l'efficacité énergétique des bâtiments.

Le chauffage

Les chaudières à basse température

Le taux du crédit d'impôts est fixé à 15 %. Il s'applique aux dépenses effectuées entre le 1^{er} janvier 2005 et le 31 décembre 2009.

Les chaudières à condensation

Le taux du crédit d'impôts est fixé à 25 %. Il s'applique aux dépenses effectuées entre le 1^{er} janvier 2005 et le 31 décembre 2009. Ce taux est porté à 40 % lorsque la chaudière est installée dans un logement achevé avant le 1^{er} janvier 1977 et que son installation est réalisée au plus tard le 31 décembre de l'année qui suit celle de l'acquisition du logement. Le taux de 40 % s'applique aux dépenses effectuées entre le 1^{er} janvier 2006 et le 31 décembre 2009.

Les appareils de régulation de chauffage et de programmation des équipements de chauffage

Pour les appareils installés en maison individuelle et ceux installés en immeuble collectif, les taux du crédit d'impôts sont les mêmes que pour les chaudières à condensation.

Les pompes à chaleur air/air

Sont éligibles à l'avantage fiscal les pompes à chaleur air/air qui remplissent les critères cumulatifs suivants :

- il s'agit d'équipements de type multisplit ou de type gainable ;
- chacune des pièces de vie est équipée d'une part d'une unité terminale ou d'un diffuseur, d'autre part d'un organe de régulation ;
- la pompe à chaleur air/air avec ses compléments intégrés éventuels assure le chauffage de l'habitation principale dans son ensemble.

L'installation de ces équipements doit être contrôlée par un organisme d'inspection accrédité selon la norme NF EN 45004.

L'isolation

Les matériaux d'isolation thermique

Pour tous les matériaux d'isolation thermique (parois opaques, vitrées, volets isolants, calorifugeage), les taux du crédit d'impôts sont les mêmes que pour les chaudières à condensation.

Les matériaux d'isolation thermique et appareils de régulation de chauffage

Le taux du crédit d'impôts est égal à 25 % du montant correspondant au prix d'acquisition de la chaudière à condensation, du matériau d'isolation thermique ou de l'appareil de régulation du chauffage.

Les énergies renouvelables

Les équipements de production d'énergie utilisant une source d'énergie renouvelable (chauffe-eau et chauffage solaire, bois ou autre biomasse, énergie photovoltaïque, énergie éolienne, hydraulique ou de biomasse, pompe à chaleur).

Pour tous ces équipements, le taux du crédit d'impôts est passé de 40 % à 50 % au 1^{er} janvier 2006. Pour les dépenses effectuées en 2005, le taux du crédit d'impôts est de 40 %. Pour les dépenses effectuées entre le 1^{er} janvier 2006 et le 31 décembre 2009, le taux du crédit d'impôts est de 50 %.

Pour les équipements de raccordement à certains réseaux de chaleur, le taux du crédit d'impôts est de 25 %. Les dépenses doivent avoir été effectuées entre le 1^{er} janvier 2006 et le 31 décembre 2009.

Les logements concernés par ce crédit d'impôts de 25 % doivent être achevés depuis plus de deux ans. Pour le taux de 40 %, le logement doit être achevé avant le 1^{er} janvier 1977 et les installations doivent être réalisées au plus tard le 31 décembre de la deuxième année qui suit celle de l'acquisition du logement.

1. Référence :
www.impots.gouv.fr

Impôt sur le revenu pour dépenses d'équipement de l'habitation principale en faveur des économies d'énergie et du développement durable¹

Production d'électricité à partir d'énergie renouvelable en vue de la revente : pour donner droit au crédit d'impôts, le local dans lequel les équipements sont installés doit être affecté à l'habitation principale du contribuable.

Le bénéfice du crédit d'impôts n'est pas remis en cause en cas d'acquisition de systèmes de fourniture d'électricité :

- pour lesquels les contribuables souscrivent un contrat de revente de l'excédent de production d'électricité non consommée par l'habitation principale ;

- utilisant une source d'énergie renouvelable, notamment solaire.
Le contribuable devra établir que la consommation électrique de l'habitation principale ainsi équipée est supérieure à la moitié de la capacité de production des équipements précités.

Les particuliers producteurs d'énergie sont imposables dans la catégorie des bénéfices industriels et commerciaux, non professionnels.

Il est précisé que les particuliers doivent conserver le détail de leurs achats et de leurs recettes.

Les conditions d'obtention du crédit d'impôts

Base du crédit d'impôts

Pompes à chaleur air/air

Ne peuvent être compris dans la base du crédit d'impôts :

- les unités intérieures ;
- les diffuseurs et gaines ;
- les tuyauteries reliant l'unité extérieure et les unités intérieures ;
- le raccordement de la pompe à chaleur à l'installation électrique ;
- les organes de régulation ;
- les autres accessoires, regards éventuels ainsi que tout matériau utilisé pour des socles maçonnés.

Autres pompes à chaleur

Sont compris dans la base du crédit d'impôts :

- la pompe à chaleur ;
- le système de captage ;
- le module hydraulique et les systèmes de stockage ;
- les tuyauteries et câblages reliant ces différents organes.

Sont exclus de la base du crédit d'impôts :

- les émetteurs (plancher chauffant, etc.) ;
- le réseau de distribution reliant la pompe à chaleur aux émetteurs ;

- les autres accessoires et organes de régulation.

Il est rappelé que le montant des dépenses éligibles à l'avantage fiscal n'est pas compris dans la base du crédit d'impôts dès lors que ces dépenses sont couvertes par des primes ou des subventions.

Les primes ou subventions versées exclusivement dans le but de financer les seuls travaux d'installation d'équipements, matériaux ou appareils éligibles et non l'acquisition de ceux-ci ne viennent pas minorer la base de cet avantage fiscal.

Le montant des dépenses ouvrant droit au crédit d'impôts ne peut excéder la somme de 8 000 € pour une personne seule et 16 000 € pour un couple.

Majoration conditionnée du taux

Le taux du crédit d'impôts applicable au prix d'acquisition d'une chaudière à condensation, d'un matériau d'isolation thermique ou d'un appareil de régulation de chauffage est porté de 25 à 40 % sous réserve que ces deux conditions soient remplies :

- l'appareil est installé dans un logement achevé avant le 1^{er} janvier 1977 ;
- l'installation de l'appareil est réalisée au plus tard le 31 décembre de l'année qui suit la date d'acquisition du logement par le contribuable.

Locaux concernés

Il est admis que les équipements à usage collectif (par exemple une chaudière collective) qui ne sont physiquement installés ni dans un logement individuel, ni dans un immeuble collectif, puissent néanmoins ouvrir droit au crédit d'impôts dès lors que leur installation est effectuée :

- dans un local donné à bail emphytéotique à une association syndicale libre créée en vue de répartir entre ses membres la dépense d'acquisition de cet équipement ;
- dans un local d'appartement conjointement aux contribuables concernés et que la dépense d'acquisition de cet équipement est répartie entre eux.

Fait générateur, imputation et restitution du crédit d'impôts

Le fait générateur du crédit d'impôts est constitué par la date du paiement de la dépense à l'entreprise qui a réalisé les travaux.

En cas de paiement par l'intermédiaire d'un tiers, le fait générateur du crédit d'impôts est constitué par le paiement par ce tiers du montant des travaux à l'entreprise qui les a effectués.

Le crédit d'impôts s'impute sur le montant de l'impôt sur le revenu dû au titre de l'année au cours de laquelle le fait générateur du crédit d'impôts est intervenu.

Si le crédit d'impôts excède l'impôt dû, l'excédent est restitué au contribuable.

Justification des dépenses, sanctions applicables

Lorsque les équipements de production d'énergie utilisant une source d'énergie renouvelable et les pompes à chaleur spécifiques s'intègrent à un logement que le contribuable acquiert neuf ou en état futur d'achèvement, le crédit d'impôts est accordé sur présentation de l'attestation fournie par le vendeur du logement.

Lorsque le bénéficiaire du crédit d'impôts n'est pas en mesure de produire une facture ou une attestation mentionnant les critères et les caractéristiques de performances, l'avantage fiscal fait l'objet, au titre de l'année d'imputation et dans la limite du crédit d'impôts retenu, d'une reprise égale à 15, 25 ou 40 % de la dépense non justifiée.

Sous-traitance

Les dépenses d'acquisition des équipements, matériaux ou appareils ouvrent droit au crédit à la condition que ceux-ci soient fournis et installés par la même entreprise et donnent lieu à l'établissement d'une facture.

Il existe une tolérance en cas d'intervention d'un sous-traitant, et pour les entreprises qui réalisent les travaux de forage nécessaires à l'installation d'une pompe à chaleur géothermale.

Les contrats de commissionnement ne sont pas de nature à offrir à l'entreprise chargée d'effectuer la facturation globale les mêmes garanties qu'un contrat de sous-traitance, notamment en ce qui concerne la responsabilité relative à la qualité de l'installation.

Période d'application

Le crédit d'impôts s'applique au coût des équipements de production d'énergie utilisant une source d'énergie renouvelable et des pompes à chaleurs spécifiques :

- payées entre le 1^{er} janvier 2005 et le 31 décembre 2009 dans un logement achevé ;
- intégrées dans un logement que le contribuable acquiert neuf entre le 1^{er} janvier 2005 et le 31 décembre 2009 ;
- intégrées dans un logement acquis en état futur d'achèvement ou que le contribuable fait construire, achevé entre le 1^{er} janvier 2005 et le 31 décembre 2009.

Précisions complémentaires

Il est admis que les appareils centralisés sur plusieurs unités extérieures puissent ouvrir droit au crédit d'impôts.

Chaque unité extérieure installée doit, pour ouvrir droit au crédit d'impôts, assurer la production de chauffage d'un nombre minimum de pièces de vie. Ainsi pourra être installée une unité extérieure jusqu'à quatre pièces de vie, et deux unités extérieures pour cinq à huit pièces de vie. Lorsque l'on parle de pièce de vie, il convient de retenir les chambres, le séjour, le salon, la salle à manger et toute autre pièce affectée à l'usage de l'habitation. Leur surface doit être égale ou supérieure à 10 m². Les pièces d'eau ne sont pas retenues.

Le caractère habituel de l'usage d'une pièce s'apprécie en fonction de la nature, du rythme et de l'importance de l'usage de ces pièces de vie.

L'acquisition d'une pompe à chaleur air/air en complément d'une installation préexistante ne peut ouvrir droit à un crédit d'impôts que lorsque l'équipement supplémentaire assure le chauffage de l'ensemble de l'habitation principale.

Dépenses comprises dans la base du crédit d'impôts**Dépenses exclues de la base du crédit d'impôts****Pompe à chaleur eau glycolée/eau à capteur vertical**

Compris dans la base du crédit d'impôts	Exclus de la base du crédit d'impôts
La pompe à chaleur Le système de captage Le module hydraulique Le système de stockage Les tuyauteries reliant la pompe à chaleur, le module hydraulique et le ballon tampon	Les travaux d'installation Les travaux de remplissage et de forage Les émetteurs Le réseau de distribution reliant la pompe à chaleur aux émetteurs Les autres accessoires, regards éventuels et tout matériau utilisé pour des socles maçonnés Les matériaux d'isolation des tuyauteries Les appareils de régulation Le raccordement de la pompe à chaleur et des accessoires à l'installation électrique

Pompe à chaleur eau glycolée/eau à capteur horizontal

Compris dans la base du crédit d'impôts	Exclus de la base du crédit d'impôts
La pompe à chaleur Le système de captage Le module hydraulique Le système de stockage Les tuyauteries reliant la pompe à chaleur, le module hydraulique et le ballon tampon	Les travaux d'installation Les travaux de décapage, remblaiement Les émetteurs Le réseau de distribution reliant la pompe à chaleur aux émetteurs Les autres accessoires, regards éventuels et tout matériau utilisé pour des socles maçonnés Les matériaux d'isolation des tuyauteries Les appareils de régulation Le raccordement de la pompe à chaleur et des accessoires à l'installation électrique

Pompe à chaleur air/eau

Compris dans la base du crédit d'impôts	Exclus de la base du crédit d'impôts
La pompe à chaleur Le système de captage Le module hydraulique Le système de stockage Les tuyauteries reliant la pompe à chaleur, le module hydraulique et le ballon tampon	les travaux d'installation les émetteurs le réseau de distribution reliant la pompe à chaleur aux émetteurs les autres accessoires, regards éventuels et tout matériau utilisé pour des socles maçonnés les matériaux d'isolation des tuyauteries les appareils de régulation le raccordement de la pompe à chaleur et des accessoires à l'installation électrique

Pompe à chaleur eau/eau

Compris dans la base du crédit d'impôts	Exclus de la base du crédit d'impôts
La pompe à chaleur Le système de captage et de rejet : tubes, collecteurs Le module hydraulique Le système de stockage Les tuyauteries reliant la pompe à chaleur, le module hydraulique et le ballon tampon	les travaux d'installation les travaux de forage, remplissage les émetteurs le réseau de distribution reliant la pompe à chaleur aux émetteurs les autres accessoires, regards éventuels et tout matériau utilisé pour des socles maçonnés les matériaux d'isolation des tuyauteries les appareils de régulation le raccordement de la pompe à chaleur et des accessoires à l'installation électrique

Pompe à chaleur sol/sol

Compris dans la base du crédit d'impôts	Exclus de la base du crédit d'impôts
<p>La pompe à chaleur</p> <p>Le système de captage et de rejet : tubes, collecteurs</p> <p>Le module hydraulique</p> <p>Les tuyauteries reliant la pompe à chaleur et le système de captage</p>	<p>Les travaux d'installation</p> <p>Les travaux de décapage, remblaiement</p> <p>Les émetteurs</p> <p>Le réseau de distribution reliant la pompe à chaleur aux émetteurs</p> <p>Les autres accessoires, regards éventuels et tout matériau utilisé pour des socles maçonnés</p> <p>Les matériaux d'isolation des tuyauteries</p> <p>Les appareils de régulation</p> <p>Le raccordement de la pompe à chaleur et des accessoires à l'installation électrique</p>

Pompe à chaleur sol/eau à capteur horizontal

Compris dans la base du crédit d'impôts	Exclus de la base du crédit d'impôts
<p>La pompe à chaleur</p> <p>Le système de captage et de rejet : tubes, collecteurs</p> <p>Le module hydraulique</p> <p>Le système de stockage</p> <p>Les tuyauteries reliant la pompe à chaleur, le module hydraulique et le ballon tampon</p>	<p>Les travaux d'installation</p> <p>Les travaux de décapage et remblaiement</p> <p>Les émetteurs</p> <p>Le réseau de distribution reliant la pompe à chaleur aux émetteurs</p> <p>Les autres accessoires, regards éventuels et tout matériau utilisé pour des socles maçonnés</p> <p>Les matériaux d'isolation des tuyauteries</p> <p>Les appareils de régulation</p> <p>Le raccordement de la pompe à chaleur et des accessoires à l'installation électrique</p>

Pompe à chaleur air/air gainable

Pompe à chaleur air/air multisplit

Compris dans la base du crédit d'impôts	Exclus de la base du crédit d'impôts
<p>La pompe à chaleur si :</p> <ul style="list-style-type: none"> - elle est centralisée sur l'unité extérieure - son fonctionnement est prévu jusqu'à -15 °C - sa puissance calorifique est supérieure ou égale à 5 kW pour une température extérieure de +7 °C - chaque pièce de vie est équipée d'un diffuseur et d'un organe de régulation - l'installation finale est contrôlée par un organisme d'inspection accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17020 	<p>Les travaux d'installation</p> <p>Les unités intérieures</p> <p>Les gaines, registres, plenums, grilles d'extraction et de soufflage</p> <p>Les tuyauteries reliant l'unité extérieure et l'unité intérieure</p> <p>Le raccordement de la pompe à chaleur et des accessoires à l'installation électrique</p> <p>Les autres accessoires, regards éventuels et tout matériau utilisé pour des socles maçonnés</p> <p>Les matériaux d'isolation des tuyauteries</p> <p>Les appareils de régulation</p>

› Les bonnes adresses

Les institutions et associations

Ademe : www.ademe.fr

Afnor : www.afnor.fr

CNDB (Centre national du bois) : www.cndb.fr

CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment) : www.cstb.fr

Enerplan (Association professionnelle de l'énergie solaire) :
www.enerplan.asso.fr

FCBA (Forêt, cellulose, bois et ameublement) : www.fcba.fr

FDES (Fiches de déclaration environnementales et sanitaires) :
<http://fdes.fr>

La maison passive : www.lamaisonpassive.fr

EcoAttitude : www.ecoattitude.fr

Effinergie : www.effinergie.org

Minergie : www.minergie.fr

Les matériaux

Le béton cellulaire

Xella : www.xella.fr

Le bois

www.bois.com

Rockwool : www.rockwool.fr

Les briques

Monomur : www.monomur.com

Imerys-structure : www.imerys-structure.com

Wienerberger : www.wienerberger.fr

L'éolien

Planète éolienne :
www.planete-eolienne.fr

Les pompes à chaleur

Thermexcel : thermexcel.com

Ecopland : ecopland.com

Xpair.com : xpair.com

Espace-elec.com/promotelec et Promotelec :

www.promotelec.fr

Pac.ch (site suisse dédié aux pompes à chaleur)

Le solaire

Clipsol : www.clipsol.fr

Eosolar : www.eosolar.fr

Outils solaires : www.outilssolaires.com

Les autres bonnes adresses

Euromac2 : www.euromac2.com

Eurofab : www.eurofab.org

Observ'ER : www.energies-renouvelables.org

Chaleurterre : chaleurterre.com

Ciele : ciele.org

Eurovent-certification : eurovent-certification.com

› Index

A

aérothermie, 102
association
Minergie, 13

B

bâtiment, 28
ballast, 131
basse consommation énergétique, 20, 39
béton cellulaire, 51, 59
isolation, 59
résistance thermique, 59
béton isolé, 61
mise en œuvre, 60
bioclimatique, 82, 118
bloc béton, 51
Blokisol, 65
résistance thermique, 66
bois, 62, 98
isolation, 62, 63
ossature plate-forme, 64
ossature poteaux-poutres, 64
résistance thermique, 63
ventilation, 65
bois-énergie, 92, 95
bois bûche, 95
brique Monomur, 51
brise-soleil, 37

C

carte des vents, 125
carte d'ensoleillement, 115

certification, 50, 72
chaudière, 93
à granulés, 94
coût d'une installation, 93
d'appoint, 113
à bûches, 95
turbo avec hydroaccumulation, 98
chauffage, 32, 92
chauffage solaire, 99, 116
coût, 101
dimensionnement, 100
chauffe-eau, 111
chauffe-eau solaire
à autovidange, 114
à circulation forcée, 113
à thermosiphon, 113
ballon de stockage, 112
capteur solaire, 111
capteurs plans, 111
coût, 116
dimensionnement, 114
installation, 110
monobloc, 113
tubes à caloduc, 112
tubes à flux direct, 112
cheminées, 96
investissement, 97
choix du terrain, 32
climatisation, 32
coût global partagé, 47
coefficent de conductivité thermique, 69, 71
coefficent d'isolation thermique
Cep max, 25

Cep réf, 25
 Ub,t, 25
 Ub,t réf, 25
 coefficient Ug, 84
 conception, 35, 37
 conditions de rachat de l'électricité, 120
 consommation, 24
 cycle de vie, 46, 47

D

démarche HQE®, 10
 choix des matériaux, 46, 47
 démarche Passiv hauss, 11
 déperditions d'enveloppe, 37
 déperditions thermiques, 83
 double vitrage, 83, 84

E

eau, 132
 besoins annuels, 136
 eau chaude sanitaire (ECS), 108
 eau chaude sanitaire sans chauffage, 108
 eau de pluie
 dimensionnement de la cuve, 136
 éclairage, 128
 économiseurs d'eau, 133
 efficacité énergétique, 40
 électricité, 118
 revente totale, 120
 enveloppe, 70
 environnement extérieur, 33
 environnement intérieur, 37
 éolien
 coût, 124
 législation, 124
 raccordement, 123
 éolien, 123

F

foyers
 investissement, 97
 foyers fermés, 96

G

géothermie, 102
 gisements forestiers, 96
 granulés, 95
 granulés bois, 92
 Grenelle de l'environnement, 10, 15, 18

H

Haute qualité environnementale, 14
 huisseries, 85
 aluminium, 87
 bois, 87
 PVC, 86
 hydro-accumulation, 117

I

implantation, 33
 inertie thermique, 52
 inserts, 95, 96
 isolant
 bloc coffrant Néopor, 73
 fibre de coco, 73
 laines végétales, 73
 liège, 73
 Polystyrène expansé (PSE), 73
 Polystyrène extrudé (XPS), 73
 Polyuréthane (PUR), 73
 verre cellulaire, 73
 isolant, 71, 72, 73
 fibre de bois, 73
 flocons de cellulose, 73
 laine de bois, 73
 laines minérales, 73
 Perlite, 73
 isolation, 39, 69, 71
 combles aménagés, 77
 combles non aménagés, 78
 dalle, 75
 Monomur, 53
 mur, 81
 phonique, 76, 85
 sol, 75, 81

sous-sol, 74
 toit, 81
 toiture, 76
 toiture chaude, 79
 toiture combinée, 80
 toiture inclinée, 79
 toiture inversée, 79
 toiture plate, 79
 vide-sanitaire, 75

L

label, 24
 BBC, 27
 Effinergie, 29
 Effinergie, 29
 HPE, 24, 25
 HPE EnR, 27
 Minergie, 13, 19, 20, 28
 Passiv hauss, 19
 THPE, 27
 THPE EnR, 27
 labellisation, 21
 lampe
 basses consommations, 129
 fluocompacte, 129
 à incandescence halogène, 130
 ballast, 131
 fluocompacte, 130
 à incandescence, 130
 loi Pope, 124
 lumière naturelle, 37

M

matériaux, 49
 certifiés, 49
 Minergie, 13
 Monomur, 52
 chauffage, 57
 coûts, 55
 huisseries, 57
 isolation, 58
 ponts thermiques, 55
 résistance mécanique, 55

résistance thermique, 55
 ventilation, 57
 VMC, 57
 mur Trombe, 38

O

orientation, 34, 36

P

pare-vapeur, 77
 Passivhauss, 11
 photovoltaïque, 118
 fonctionnement, 119
 amortissement, 121
 coût d'une installation, 122
 installation, 121
 installation en site isolé, 122
 installation reliée au réseau, 121
 revente d'électricité totale , 120
 plancher chauffant
 plancher solaire direct, 99
 PSDA, 100
 PSDAI, 100
 plaquettes forestières, 96
 poêle à granulés
 coût, 94
 poèles, 97
 poêles
 investissement, 97
 poèles à granulés, 94, 95
 pompes à chaleur, 102
 captages, 104
 eau chaude sanitaire, 108
 fonctionnement, 102
 PAC air/eau, 107
 PAC eau/eau, 106
 PAC sol/eau, 106
 PAC sol/sol, 106
 plancher chauffant, 107
 puits canadien, 40, 44
 fonctionnement, 44
 PVC, 89

R

- récupération d'eau de pluie, 135
- résistance de conductivité thermique, 69
- résistance thermique, 70

S

- silos, 94
- solaire thermique, 110
- systèmes combinés chauffage/eau chaude sanitaire, 116
 - coût, 117
- système solaire combiné, 117

T

- thermopierre, 59
- tirage, 97, 98
- transmission de chaleur, 82
- triple vitrage, 83
- tube fluorescent, 130

V

- ventilation, 40
 - dimensionnement, 42
 - entretien, 43
 - entretien de l'installation, 43
 - mécanique contrôlée (VMC), 40
- vitrage, 37, 82
 - coefficients U, 84
 - ITR (isolation thermique renforcée), 83
 - VIR (vitrage à isolation renforcée), 83
- vitre, 82
- VMC, 41
 - double flux, 41, 42, 45
 - hygroréglable B, 41
 - simple flux, 42, 45
 - simple flux hygroréglable B, 41
- volets roulants, 39

Z

- zones climatiques, 19, 26, 35