

Energies renouvelables

Les bâtiments à énergie positive

FICAJA Stéphane
MARCHON Stéphanie
VALADIER François
LERAY Anne



Sommaire

I.	Introduction.....	3
1.	La France et l'innovation	3
2.	Le Grenelle de l'environnement	4
II.	Des bâtiments qui nécessitent peu d'énergie pour fonctionner	5
1.	Introduction.....	5
2.	Limitation des pertes énergétiques.....	5
a.	Isolation du bâtiment	5
b.	Fenêtres.....	6
c.	Étanchéité à l'air.....	7
d.	Optimiser le système de ventilation.....	7
e.	Réseau d'eau chaude	8
3.	Utilisation optimale des énergies gratuites.....	9
a.	Optimiser l'apport solaire d'hiver	9
b.	Éviter les surchauffes en été	9
c.	Penser à la bonne forme	10
d.	Éviter les consommations inutiles.....	10
III.	Production d'énergie renouvelable.....	11
1.	Production de chaleur	11
a.	Chauffage solaire thermique.....	11
b.	Combustion de biomasse	12
c.	Géothermie et pompe à chaleur	12
2.	Production d'électricité	13
a.	Photovoltaïque	13
b.	Micro-éolien	14
c.	Micro-hydraulique.....	14
IV.	Législation et réglementation	15
V.	Les bâtiments à énergie positive en France	18
1.	Immeuble « Bonne Énergie » à Grenoble, LFI.....	18
a.	Évaluation des surinvestissements.....	19
b.	Coût de l'énergie dans le bâtiment de référence conforme à la RT 2005	19
c.	Coût de l'énergie dans le bâtiment projeté	19
2.	Bâtiment « Green Office » à Meudon, Bouygues Immobilier	20
3.	Tour Elithis à Dijon.....	21
VI.	Conclusion	22
VII.	Bibliographie.....	23

I. Introduction

Les maisons individuelles existantes des particuliers représentent de très loin le premier segment consommateur avec 42% de consommation d'énergie finale, devant les quatre autres (Tertiaire privé, Tertiaire public, Copropriété des particuliers, logements HLM).

La performance thermique des bâtiments a progressé de 34 % entre 1973 et 2003 : la consommation moyenne d'un logement passe de **372 KWh/m²** an à **245 KWh/m²** entre ces deux dates. Ce progrès est dû à l'évolution de la réglementation de la construction neuve et à la réhabilitation d'une grande partie du parc existant.

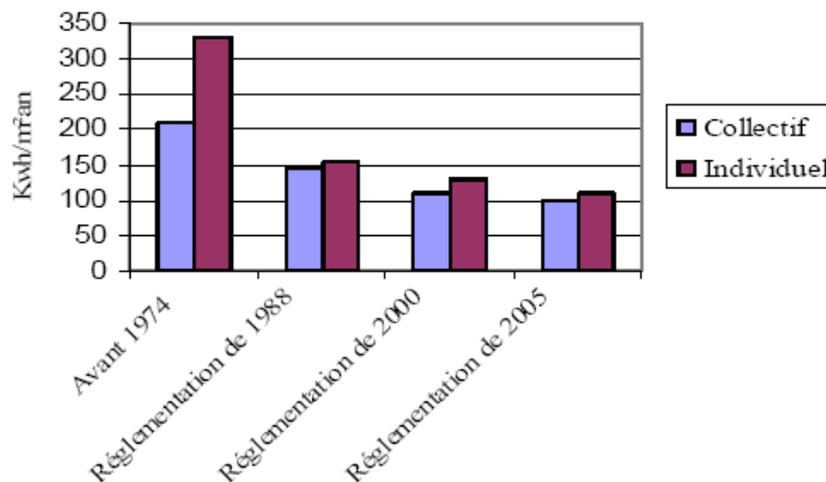
Mais, durant la même période, entre 1973 et 2004, la consommation finale d'énergie dans le bâtiment a progressé en volume de **24 %**. Cette évolution est due à l'augmentation de la surface de logement par habitant, la croissance du parc résidentiel et tertiaire, la progression de certains usages (appareils électroménagers, climatisation...).

Donc, ces trente dernières années, malgré la baisse de plus d'un tiers de la consommation par m², la consommation a augmenté d'un quart en volume

L'énergie utilisée dans le secteur résidentiel et tertiaire est essentiellement d'origine **non renouvelable**. Les énergies renouvelables représentent environ 9 % de l'énergie finale. **L'énergie fossile** représente une part essentielle de cette consommation.

Le potentiel d'économie d'énergie varie fortement selon la date de la réglementation thermique en vigueur lors de la construction du bâtiment. Le principal gisement d'économie est le patrimoine d'avant 1974.

Figure 3. Consommation d'énergie (chauffage et eau chaude sanitaire) en énergie finale par type d'habitat en France en zone H1



1. La France et l'innovation

La France se caractérise par :

- une prise de conscience récente du défi bâtiment, énergie et gaz à effet de serre ;
- peu d'opérations innovantes terminées ;
- des outils opérationnels, labels, guides techniques, sites internet, foires commerciales, formation des professionnels, peu nombreux.

Le bâtiment, avec les transports, sont les deux secteurs prioritaires pour atteindre ces objectifs fixés par l'Union Européenne (diminuer de 20 % d'ici 2020 ses émissions de gaz à effet de serre par rapport à 1990, baisser de 20 % sa consommation d'énergie entre ces deux dates, passer à une proportion de 20 % d'énergies renouvelables dans sa consommation en 2020) ; or le potentiel d'économie est plus fort dans le bâtiment que dans les transports.

La prise de conscience de l'ampleur du problème à résoudre est en France très récente

Depuis 2005 environ on assiste à un grand foisonnement d'initiatives. Des acteurs d'origines variées, particuliers, municipalités, promoteurs privés, organismes d'habitat social ont lancé la réalisation de maisons individuelles, d'immeubles collectifs d'habitation, de locaux d'enseignement, de bureaux..., le plus souvent en construction neuve et parfois en rénovation, dont la consommation d'énergie sera nettement plus faible que la moyenne, et dont la part des énergies renouvelables sera plus élevée. De plus les incitations publiques et privés sont très nombreuses mais, les initiatives sont en cours et il existe à ce jour peu d'opérations terminées à visiter et à évaluer.

2. Le Grenelle de l'environnement

L'élément nouveau et considérable en France est le Grenelle de l'Environnement qui s'est déroulé durant l'été et l'automne 2007. Sous l'égide de l'Etat, cinq types d'organisations, pouvoirs publics, collectivités territoriales, patronat, syndicats et associations ont défini les axes d'un plan d'action ambitieux pour le bâtiment et la ville.

Le bâtiment doit être le principal contributaire national aux économies d'énergie avec une **baisse** pour le secteur de **38%** d'ici 2020.

➤ Pour le bâtiment existant, le Grenelle de l'Environnement propose :

- la rénovation thermique de tous les bâtiments publics existants d'ici 2015, avec un plan d'action spécifique à 5 ans pour les bâtiments de l'Etat ;
- un plan d'action de rénovation du parc HLM, avec priorité aux 800 000 logements les plus énergivores et rénovation basse consommation dans le cadre du programme ANRU;
- un plan d'action très incitatif pour les bâtiments privés, résidentiels et tertiaires, avec mise à l'étude d'une obligation de rénovation thermique.

➤ Un programme de rupture est défini pour **le neuf** :

- Tous les bâtiments publics et privés tertiaires neufs seront au moins en basse consommation (RT 20059 moins 50%) à partir de 2010 ;
- pour l'ensemble des bâtiments neufs:
 - RT 2010 égale à RT 2005 moins 20%
 - RT 2012 égale à RT 2005 moins 50%
 - **RT 2020 rend obligatoire les bâtiments à zéro énergie ou à énergie positive.**

➤ Au niveau urbain, le Grenelle de l'Environnement prévoit notamment :

- un plan volontariste d'éco quartiers ;
- des plans « Climat-énergie » territoriaux d'ici 2012 pour les communautés d'agglomération, les communautés urbaines, les pays et les parcs naturels.

II. Des bâtiments qui nécessitent peu d'énergie pour fonctionner

1. Introduction

Construire un bâtiment à énergie positive nécessite d'appliquer quelques principes et techniques de construction différents de ceux habituellement utilisés en ce moment en France. Pour obtenir un bâtiment à énergie positive, il faut tout d'abord avoir un bâtiment qui consomme peu. Afin d'obtenir un tel bâtiment basse consommation, il convient d'agir sur plusieurs plans. Il faut limiter les pertes énergétiques, utiliser au mieux les énergies gratuites telles que l'énergie solaire, la chaleur du sol, etc. éviter les surchauffes l'été et éviter de consommer inutilement. Le schéma suivant nous donne les principales déperditions d'une maison classique.



Figure 1 : Déperditions d'une maison mal isolée. Source Climamaison.com

2. Limitation des pertes énergétiques

a. Isolation du bâtiment

L'une des premières actions à mener est d'isoler efficacement le bâtiment, c'est-à-dire d'éviter au maximum les pertes thermiques par l'enveloppe (murs, toit, sol, surfaces vitrées...) et par les ponts thermiques. Un pont thermique est une zone où la chaleur s'échappe par conduction entre l'intérieur et l'extérieur, sans être freinée par un isolant. Il s'agit typiquement de défauts liés à une isolation mal faite au niveau des coins de murs, de fuites par les cloisons horizontales entre les différents étages... Nous ne détaillerons pas les techniques d'isolation du sol et du toit, mais nous nous focalisons plutôt sur l'isolation des murs et des fenêtres.

Deux grandes techniques sont couramment utilisées pour l'isolation des murs : l'isolation par l'intérieur et l'isolation par l'extérieur. L'isolation par l'extérieur reste plus chère que l'isolation par l'intérieur, mais elle a l'avantage d'éviter la formation de ponts thermiques. Cependant, si elle est utilisée en rénovation, elle modifie généralement l'aspect extérieur et peut donc nécessiter la demande d'un permis de construire¹.

¹ climamaison.com

L'isolation par l'intérieure est moins chère, mais ne supprime pas autant les ponts thermiques, sauf si elle est utilisée pour créer une « pièce étanche » avec pose d'isolant aussi aux plafonds et planchers. Si l'isolation par l'intérieur est choisie, dans le cas d'un bâtiment à plusieurs étages, il y a intérêt à placer des « rupteurs de ponts »². En plus de laisser des ponts thermiques, ce type d'isolation a pour défaut de nécessiter des épaisseurs importantes d'isolant pour un bon résultat, ce qui diminue d'autant la surface habitable.

En terme financier, l'isolation par l'extérieure est intéressante au-delà de deux étages car elle évite les déperditions thermiques au niveau des dalles entre étages. Pour un seul étage, le surcoût

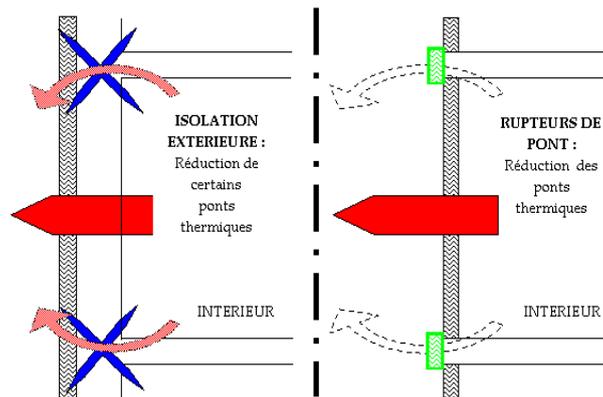


Figure 2 Isolation par l'extérieur et rupteurs de ponts source cstb est important face aux plus faibles déperditions³.

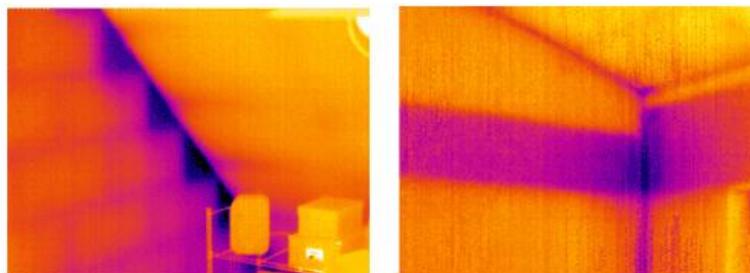


Figure 3 Mise en évidence de ponts thermiques source xpair.com

b. Fenêtres

Les fenêtres sont principalement composées de deux éléments : une surface vitrée et un cadre. Il convient de minimiser les pertes de chacun. La surface vitrée représentant 70% de la surface totale de la fenêtre⁴, elle est à optimiser en priorité. Les techniques proposées ne se limitent pas au double-vitrage, qui est insuffisant, et on trouve des fenêtres plus performantes, soit triple vitrage, soit contenant un gaz inerte entre les lames de verre, soit présentant une face intérieure recouverte par un oxyde métallique. Cette dernière technique permet notamment de réduire les déperditions thermiques par rayonnement de 60 à 70%⁵.

² CSTB

³ climamaison.com

⁴ climamaison.com

⁵ climamaison.com

Ensuite, il faut absolument penser à installer des volets qui évitent beaucoup les pertes la nuit, à condition qu'il s'agisse de volets pleins. Ainsi un triple vitrage non occulté par un volet perd plus d'énergie au total qu'un double vitrage occulté la nuit⁶. Cependant ceci n'est efficace que si les occupants sont sensibilisés, tout comme un certain nombre d'optimisations du bâtiment passif.

c. Etanchéité à l'air

Les déperditions dues à une mauvaise étanchéité à l'air peuvent être très préjudiciables au rendement énergétique. Il faut donc éviter les fuites d'air en général et faire particulièrement attention aux liaisons entre enveloppe et fenêtres ou portes et aux éléments pénétrants tels que canalisations, électricité, conduits de cheminée...

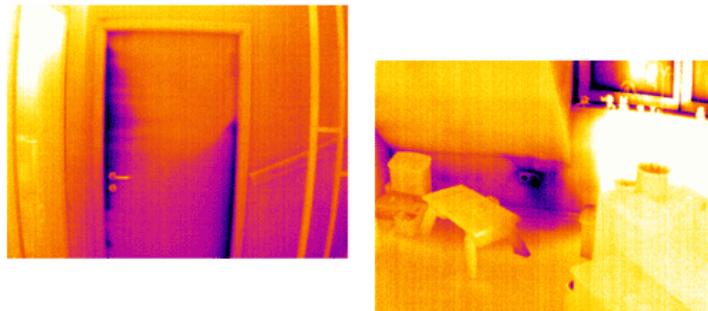


Figure 4 Mise en évidence d'infiltrations d'air *xpair.com*

d. Optimiser le système de ventilation

Isoler efficacement sans s'intéresser à la ventilation serait une aberration puisqu'elle représente près de 20% des pertes. On ne peut pas non plus simplement la supprimer car elle est obligatoire et surtout essentielle pour la qualité de vie des occupants. Une maison mieux isolée sera plus sensible au dégagement d'humidité interne, or un taux d'humidité excessif entraîne le développement de moisissures qui provoquent allergies et problèmes respiratoires. Il est également nécessaire d'évacuer continuellement l'air intérieur pour éviter l'accumulation de produits chimiques, composés organiques volatils, de CO₂ et renouveler la quantité de dioxygène.

Cet air qu'il faut évacuer, qui est à la température du bâtiment chauffé, contient beaucoup d'énergie qu'il est intéressant de récupérer au lieu de la laisser s'échapper vers l'extérieur. L'objectif en hiver est de réchauffer l'air entrant, mais l'été il faudra le refroidir, ou au minimum éviter qu'il ne récupère les calories sortantes. Pour cela, on utilise une ventilation mécanique double-flux avec échangeur de chaleur. La VMC va aspirer l'air chaud et vicié dans les pièces humides telles que cuisine, salle de bain, et l'évacuer en passant par un échangeur de chaleur qui sert à réchauffer l'air froid et neuf que l'on injecte, une fois à la bonne température, dans les pièces de vie. Comme en été on ne souhaite pas chauffer, il faut choisir un système où il est possible de déconnecter l'échangeur de chaleur.

⁶ http://fr.ekopedia.org/Maison_passive

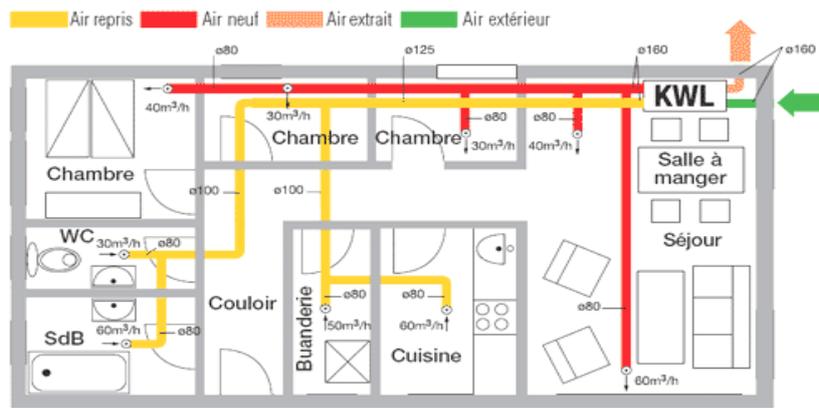


Figure 5 VMC double flux avec récupérateur *source Helios*

L'ajout d'un puits canadien/provençal peut permettre d'améliorer le système. En effet, il permet d'avoir un air en entrée de l'échangeur déjà partiellement préchauffé en hiver. L'air arrive alors généralement à une température positive. Surtout ce système permet de refroidir l'air entrant en été et donc de diminuer la nécessité d'un système de climatisation additionnel. Un tel puits est en réalité un échangeur air/sol composé de tuyaux enterrés à travers lesquels l'air va circuler pour se réchauffer/se refroidir au contact du sol. En profondeur, le sol garde une température moyenne avoisinant les 10°C⁷, d'où l'intérêt d'un tel dispositif.

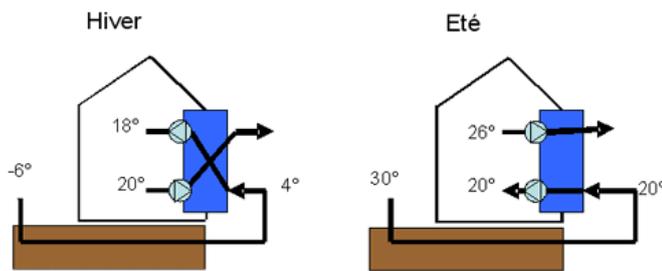


Figure 6 VMC couplée à un puits canadien *source climamaison.com*

e. Réseau d'eau chaude

Il faut aussi penser important à limiter les déperditions liées à une chaudière ou un réseau d'eau chaude sanitaire mal adapté. Afin de réduire les pertes liées à la distribution d'eau, il est conseillé d'organiser son réseau afin de minimiser la longueur de tuyau utilisée pour l'eau chaude et d'isoler ces tuyaux.

⁷ Ekopedia.org

3. Utilisation optimale des énergies gratuites

a. Optimiser l'apport solaire d'hiver

Une fois que les pertes énergétiques ont été minimisées, il convient de récupérer un maximum d'énergies « gratuites », en particulier l'énergie solaire en hiver, et de minimiser cet apport en été. Une bonne façon de le faire est de bien choisir l'orientation du bâtiment, sa forme et la végétation qui l'entoure. Ainsi, pour favoriser les apports de chaleur et de lumière en hiver, il faut privilégier les fenêtres au sud et minimiser celles au nord, à l'est et à l'ouest, qui sont déficitaires en énergie en hiver. On peut retenir comme ordre de grandeur de mettre 40 à 60% de surface vitrée sur la façade sud, 10 à 15% au nord, et moins de 20% sur les façades est et ouest⁸.

L'énergie solaire, qui pénètre via les fenêtres, est stockée en grande partie par les murs qui fonctionnent comme de grands accumulateurs thermiques. La chaleur ainsi accumulée est ensuite restituée progressivement dans les pièces par convection et rayonnement. La température intérieure du bâtiment est d'autant plus constante au cours d'un cycle jour/nuit que le bâtiment a une inertie importante.

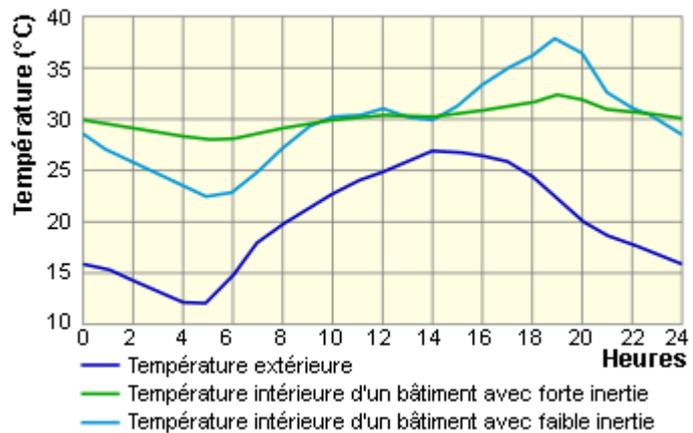


Figure 7 Evolution des températures en été source energie.wallonie.be

Pour ce qui est de l'éclairage naturel, il est conseillé d'avoir une surface vitrée qui représente 16,6% de la surface au sol de la pièce, de manière à pouvoir avoir un éclairage naturel suffisant.

b. Eviter les surchauffes en été

Pour minimiser l'apport solaire en été et éviter les surchauffes, il est essentiel de maîtriser l'ensoleillement direct au sud, par exemple avec des auvents, des persiennes ou en prévoyant dans la construction du bâtiment des avancées dont l'ombre projetée sera sur les fenêtres sud en été. Au niveau de la végétation, il est intéressant de planter des arbres à feuilles caduques au sud, qui font de l'ombre en été mais laisseront passer les rayons solaires en hiver.

On peut également profiter de la fraîcheur de la nuit et de l'inertie de bâtiment en sur ventilant la nuit, afin d'abaisser au maximum la température, de façon à profiter de cette fraîcheur au cours de la journée.

⁸ http://fr.wikipedia.org/wiki/Habitat_passif

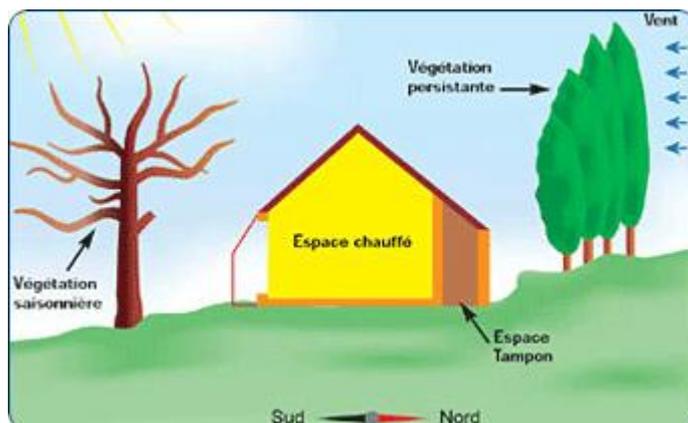
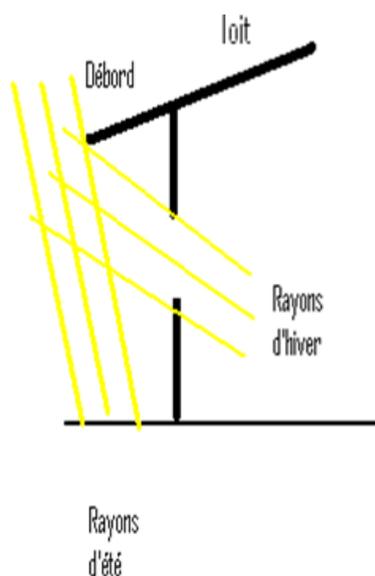


Figure 8 Orientation optimisée source *climamaison.com*

Figure 9 Importance des avancées côté sud source *climamaison.com*

c. Penser à la bonne forme

Il faut aussi d'optimiser la forme de la maison, car de la forme de la maison dépend beaucoup les pertes énergétiques. Plus un bâtiment est compact, plus il est performant, car il y a proportionnellement moins de surfaces déperditives pour un même volume à chauffer. Ainsi, pour un même volume, une maison individuelle est plus gourmande en énergie pour le chauffage qu'un immeuble⁹. Dans la même idée, tous les angles et saillies tels que terrasses et balcons qui augmentent la surface de déperdition, tout en multipliant les possibilités de ponts thermiques, sont à éviter autant que possible. Dans les régions fortement venteuses, il convient de minimiser la taille des façades exposées au vent dominant, d'éviter portes et fenêtres sur ces mêmes façades et de choisir des configurations évitant de faire obstacle au vent¹⁰. On peut également utiliser des espaces tampons peu chauffés pour se prémunir de l'effet de refroidissement des murs, et donc du bâtiment, lié au balayage par le vent.

d. Eviter les consommations inutiles

Une fois que le bâtiment est optimisé pour ne perdre que très peu d'énergie et optimiser au maximum les apports solaires, il serait dommage de gâcher ce bon rendement en utilisant des appareils électriques énergivores. Il est donc recommandé de privilégier pour l'équipement du logement les appareils de classe A au minimum, si possible mieux. Il faut proscrire complètement les lampes à incandescence et privilégier les lampes basses consommations ou les diodes électroluminescentes.

Enfin, il convient de choisir un chauffage adapté à ses besoins et qui ne soit surtout pas surdimensionné, car l'utilisation à sous-capacité d'un chauffage mal dimensionné entraîne un fort surcoût par rapport à l'utilisation, pour la même capacité, d'un chauffage bien dimensionné. Pour le chauffage, il est également essentiel de veiller au bon entretien et au bon équilibrage du réseau de distribution, car sinon cela entraîne également un fort surcoût énergétique.

⁹ energiepositive.info

¹⁰ energiepositive.info

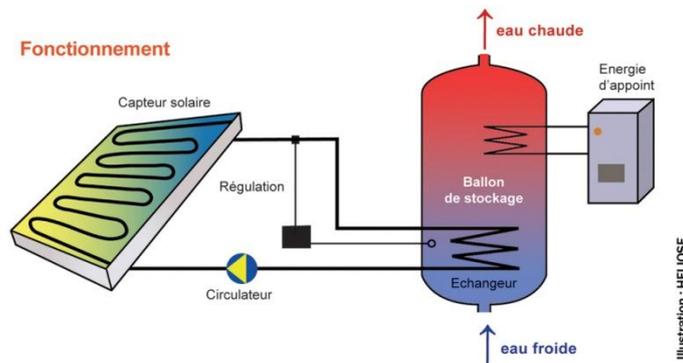
III. Production d'énergie renouvelable

1. Production de chaleur

a. Chauffage solaire thermique

A l'échelle d'une habitation individuelle ou collective, il est possible d'installer un chauffe-eau solaire, ou un chauffage solaire : il s'agit de capteurs vitrés installés le plus souvent sur la toiture, dans lesquels circule un liquide caloporteur réchauffé par le rayonnement solaire, qui transmet ensuite la chaleur à un chauffe-eau et éventuellement à un plancher chauffant basse température. Ce procédé permet de couvrir environ 50 % en moyenne en France des besoins en eau chaude, et d'apporter éventuellement un complément de chauffage. Les capteurs solaires thermiques atteignent aujourd'hui (2008) des rendements de 80%.

Dans les capteurs thermiques à eau, l'eau circule dans des tubes munis d'ailettes. Pour obtenir un meilleur rendement, l'ensemble est placé dans une boîte vitrée isolante afin d'obtenir un effet de serre. Avec un ensoleillement important, et si les besoins en énergie sont modérés, un simple réseau de tubes à ailettes peut suffire. Les ailettes, qui forment ce qu'on appelle l'absorbeur, sont chauffées par le rayonnement solaire et transmettent leur chaleur à l'eau qui circule dans les tubes.



Les premiers absorbeurs étaient peints en noir afin de capter un maximum d'énergie lumineuse. Mais le noir a l'inconvénient d'avoir un rayonnement important, ce qui finit par échauffer la vitre et provoquer des pertes à travers celle-ci. C'est pourquoi on préfère utiliser des absorbeurs traités au chrome, ce qui donne un corps noir dont le rayonnement est beaucoup plus faible. On parle de surfaces sélectives, elles absorbent bien le rayonnement solaire visible (où se situe la grande partie de l'énergie provenant du Soleil, corps noir à haute température) mais réémettent peu dans l'infrarouge (rayonnement de l'absorbeur, corps noir à relativement basse température).

De nombreuses autres innovations techniques ont permis d'augmenter le rendement des panneaux thermiques, telles que :

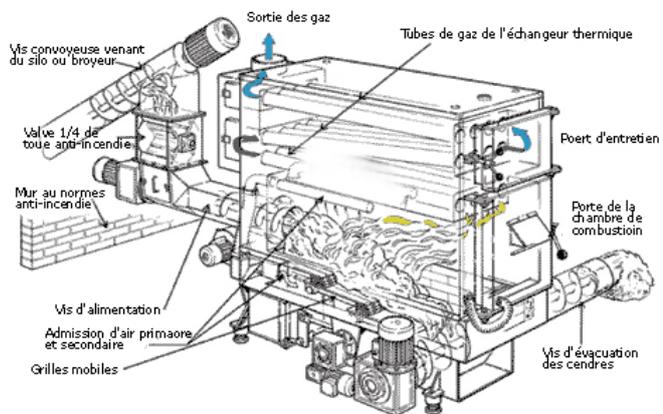
- * des vitres traitées pour empêcher le rayonnement, qui laissent passer jusqu'à 95% de la lumière grâce à leur faible teneur en oxyde de fer
- * des tubes transparents "sous vide" pour éviter les déperditions thermiques convectives de l'absorbeur
- * des assemblages tubes-ailettes parfaitement solidaires réalisés par soudure aux ultrasons...

Les capteurs solaires à eau sont utilisés pour le chauffage et/ou pour produire de l'eau chaude sanitaire (ECS) dans un chauffe-eau solaire. Dans les capteurs thermiques à air, c'est de l'air qui circule et qui s'échauffe au contact des absorbeurs. L'air ainsi chauffé est ensuite ventilé dans les habitats pour le chauffage ou dans des hangars agricoles pour le séchage des productions

b. Combustion de biomasse

Les chaudières transforment et transmettent l'énergie contenue dans la biomasse à un fluide. Ils sont composés de deux éléments : d'un foyer (ou se déroule la combustion) et d'un échangeur (où se produit le transfert de la chaleur vers le fluide). L'échangeur de chaleur permet le transfert de la chaleur au fluide. Les chaudières biomasse sont principalement équipées de deux types d'échangeurs : les échangeurs à tubes d'eau et les échangeurs à tube de fumées.

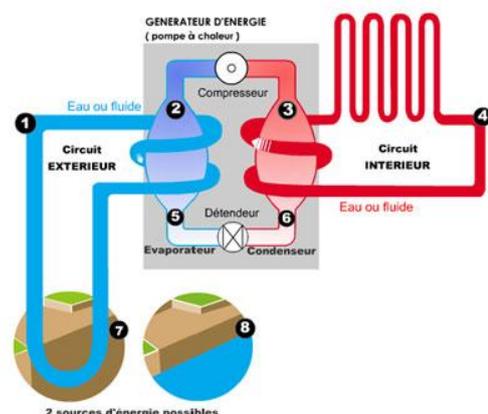
Pour les échangeurs à tubes de fumées, les gaz de combustion circulent dans des tubes placés dans l'eau de la chaudière. Les échangeurs à tubes de fumées actuels sont généralement à deux ou trois passages de fumées. Ils sont majoritairement positionnés à l'horizontale, mais il existe des modèles verticaux. Le premier parcours est constitué par la chambre de post-combustion, le deuxième et le troisième correspondent aux faisceaux tubulaires. Pour favoriser les échanges thermiques, le temps de séjour des gaz à l'intérieur des faisceaux tubulaires doit être élevé. Les chaudières à tubes de fumées répondent à des besoins de production d'eau chaude classique, voire d'eau surchauffée, et sont généralement utilisés pour les chaudières de petites et de moyennes tailles jusqu'à 30 MW.



Pour les échangeurs à tubes ou lames d'eau, contrairement aux échangeurs à tubes de fumées, les gaz de la combustion transmettent la chaleur à l'eau qui circule à l'intérieur des tubes de l'échangeur. Il existe plusieurs types de chaudières à tubes de fumées : les chaudières à circulation naturelle, à circulation forcée et les générateurs de vapeur. Les chaudières à tubes d'eau représentent la majorité des chaudières vapeur en service actuellement et sont généralement utilisées pour les chaudières de moyennes et grandes tailles (de 10 à 900 MW).

c. Géothermie et pompe à chaleur

Il s'agit principalement d'extraire la chaleur contenue dans le sous-sol afin de l'utiliser pour les besoins du chauffage. Les transferts thermiques peuvent aussi dans certains cas être inversés pour les besoins d'une climatisation. Les procédés d'extraction de l'énergie diffèrent suivant les solutions retenues par les constructeurs. La méthode utilisée pour assurer les transferts thermiques influe beaucoup sur le rendement de l'ensemble. L'utilisation de l'eau comme véhicule thermique améliore le rendement. Lorsque la terre est utilisée seule pour le transfert thermique le rendement est moins bon que lorsque l'on utilise l'eau. La



géothermie peu profonde et basse température utilisera donc de plus en plus les nappes d'eau libre contenues dans le sous-sol alluvionnaire de nos rivières. La profondeur des deux forages aspiration et rejet sont peu profonds. La profondeur du forage est en fonction de la profondeur de la nappe phréatique et de la perméabilité du sous-sol.

En général le principe du « doublet géothermique » est retenu pour augmenter la durée de vie de l'exploitation de la nappe phréatique dans laquelle on puise l'eau chaude. Le principe est de faire deux forages : le premier pour puiser l'eau, le second pour la réinjecter dans la nappe. Les forages peuvent être éloignés l'un de l'autre (un à chaque extrémité de la nappe pour induire un mouvement de circulation d'eau dans la nappe, mais ce n'est pas pratique d'un point de vue de l'entretien) ou rapprochés de quelques mètres mais avec des forages obliques (toujours dans le but d'éloigner les points de ponction et de réinjection de l'eau).

2. Production d'électricité

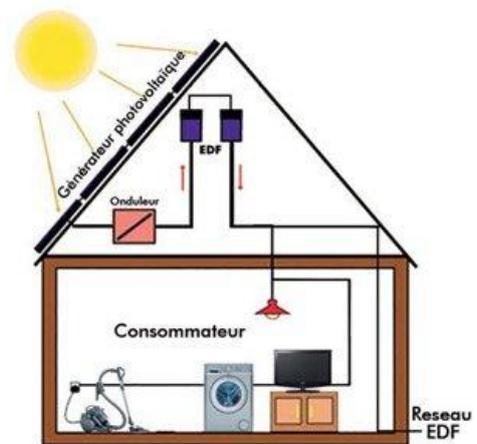
a. Photovoltaïque

Sur terre, l'énergie solaire moyenne en pleine exposition reçue par 1 m^2 de panneaux exposés en plein soleil est de 1 kW , alors que dans l'espace la constante solaire est de $1,367 \text{ kW/m}^2$. Malgré son nom la constante solaire n'est pas vraiment constante puisque l'activité solaire n'est pas elle-même constante.

Les pertes occasionnées lors de la traversée de l'atmosphère par la lumière est telle que l'énergie qui arrive au sol sur terre est plus faible et de l'ordre moyen de 1 kW/m^2 au midi vrai. C'est cette valeur qui est communément retenue pour les calculs. En laboratoire pour déterminer le rendement d'une cellule ou d'un panneau solaire, une source d'énergie solaire artificielle de 1 kW/m^2 est également utilisée. Au final, l'énergie qui arrive au sol dépend de l'inclinaison du soleil donc de l'épaisseur de l'atmosphère à traverser et de sa nébulosité.

Alors que cette question peut être étudiée plus en détail sur le site de l'Institut de l'énergie solaire (INES), le nombre d'heures d'équivalent plein soleil concerne plus particulièrement le producteur d'électricité photovoltaïque.

En effet, un panneau solaire n'est qu'exceptionnellement exactement face au soleil puisque la terre tourne sans arrêt et que l'inclinaison du soleil par rapport au panneau évolue en permanence. Au cours d'une journée sans nuage la production électrique du panneau varie également en permanence en fonction de la position du soleil et n'est jamais à son maximum sauf au bref passage du plein midi. La production en fin de journée est donc une somme de productions partielles. Par temps couvert, donc en l'absence de soleil, la luminosité ambiante, alors que le soleil est caché, permet quand même une toute petite production électrique, et ces petites productions additionnées finissent par faire des kWh. En fin d'année à partir du total de la production électrique on obtient le nombre d'heures d'équivalent plein soleil de l'année qui n'a rien à voir avec le nombre d'heures d'ensoleillement au sens météo.

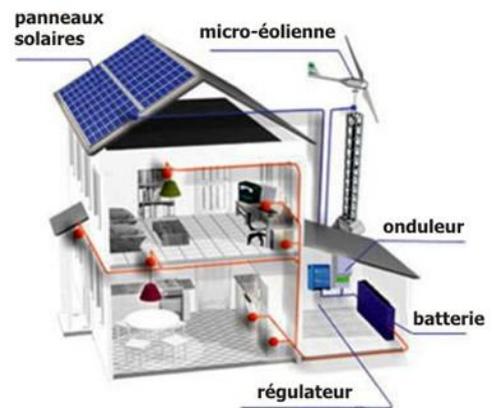


Les panneaux solaires dits photovoltaïques sont souvent intégrés au toit de la maison et peuvent dans certains cas, être mobiles afin de profiter de l'ensoleillement maximum

b. Micro-éolien

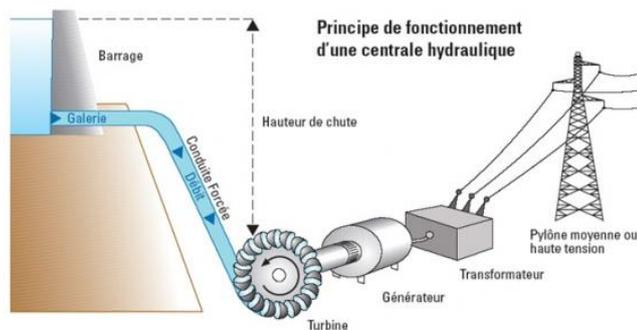
Le micro-éolien est moderne et non polluant. IL est une solution bien adaptée en site isolé. S'i l'emplacement est situé loin des lignes, le fait de produire son électricité peut être souhaitable.

Ce système complète les systèmes d'énergie solaire photovoltaïque. Les systèmes d'énergie solaire photovoltaïque produisent davantage d'électricité lorsque le nombre d'heures d'ensoleillement est plus élevé et lorsque l'intensité d'ensoleillement est plus grande (en général en été). Les turbines éoliennes produisent plus d'électricité lorsque le vent souffle pendant plus d'heures par jour et plus fort (en général en hiver). Ceci fait du vent un excellent complément à l'énergie solaire photovoltaïque dans un système d'énergie électrique renouvelable.



c. Micro-hydraulique

Le micro hydraulique consiste à exploiter une hauteur de chute d'eau et d'en tirer une énergie renouvelable relativement constante. C'est un système très simple, basé sur le système hydraulique.



IV. Législation et réglementation

Les constructions neuves ainsi que la rénovation de bâtiments déjà existants sont soumises en France à un cadre légal et des réglementations.

Dans le cadre des accords de Rio et de Kyoto, la France s'est engagée à réduire ses émissions de gaz à effet de serre. Cela passe par une réduction de la consommation énergétique des bâtiments car cela contribue pour un quart à nos rejets totaux. Les objectifs de la réglementation thermique sont donc (source RT 2005, www.logement.gouv.fr) :

- une amélioration de la performance énergétique de la construction neuve d'au moins 15%, pour un objectif de 40% en 2020
- une limitation du recours à la climatisation
- la maîtrise de la demande en électricité

Et cela en encourageant les systèmes et les techniques constructives performants.

La RT en vigueur est celle de 2005 et elle fixe des limites supérieures de consommation pour les bâtiments ainsi qu'une limite de température intérieure en été.

Ces limites sont de plus en plus strictes au cours des années et les différentes RT successives ont permis une baisse de 50% de la consommation énergétique des bâtiments neufs.

Voici le tableau récapitulatif des consommations limites suivant la zone climatique habitée et le type de chauffage possédé :

Consommation maximale exprimée en énergie primaire pour les consommations de chauffage, refroidissement et production d'eau chaude sanitaire

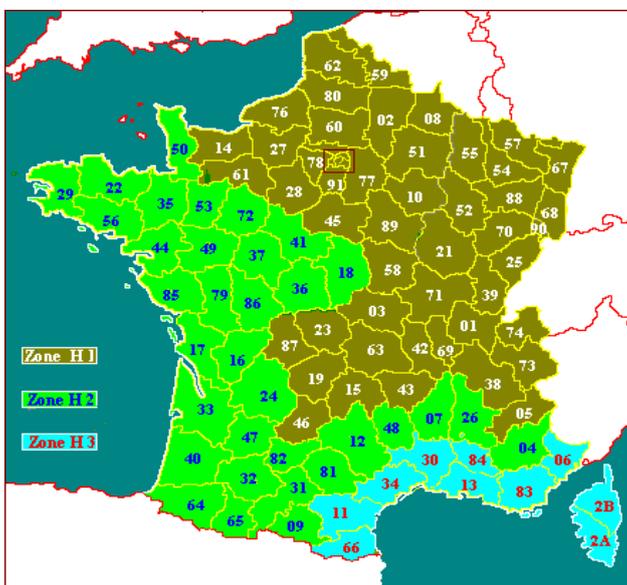
Zone climatique *	Combustibles fossiles	Chauffage électrique (y compris pompes à chaleur)
H1	130 kWh primaire/m ² /an	250 kWh primaire/m ² /an
H2	110 kWh primaire/m ² /an	190 kWh primaire/m ² /an
H3	80 kWh primaire/m ² /an	130 kWh primaire/m ² /an

* les zones climatiques sont définies dans l'arrêté
(H1 : nord, à H3 : zone méditerranéenne)

(source : RT 2005)

La prochaine réglementation thermique sera la RT 2010 et elle visera à introduire une consommation limite de 50 kWh/m²/an (maison « basse consommation ») et pour atteindre un niveau inférieur et proche du zéro, il faut, en plus de réduire au maximum les consommations, intégrer des énergies gratuites et renouvelables et parfois intégrer une production type photovoltaïque ou éolienne. La décomposition en zone climatique est nécessaire : en effet, il est normal qu'une habitation neuve dans le nord puisse consommer plus qu'une habitation en région PACA étant donné la différence de climat (cela fait en sorte que le coût de la maison ne soit pas excessivement plus cher dans le nord que dans le sud).

Il faut être néanmoins vigilant à la rudesse des hivers dans les zones froides (notamment à l'est) et aux difficultés que cela introduit (nécessité d'avoir des modes de chauffage d'appoint en cas de grand froid par exemple).



Carte des zones climatiques

(source : RT 2005)

L'Etat essaie donc de promouvoir des nouvelles technologies en terme d'isolation thermique ou de production d'électricité et d'eau chaude sanitaire. Ces aides sont principalement d'ordre financières avec une baisse de la TVA ou des crédits d'impôts.

En effet, une mesure européenne s'applique jusqu'au 31 décembre 2010 qui réduit la TVA à 5.5 % sur les travaux d'entretien ou d'amélioration du logement tant sur la main d'œuvre que sur les matériaux. Cette aide est en pratique distribuée par l'ANAH (Agence Nationale de l'Habitat).

Les travaux concernés par cette mesure sont les suivants (source : www.climamaison.com) :

- Les travaux de rénovation des locaux à usage d'habitation y compris des équipements de chauffage, de climatisation, de ventilation et de sanitaire.

- Les travaux d'isolation phonique et/ou thermique.
- Les travaux de transformation : aménagement des combles en chambre ou salle de jeu...
- Les travaux d'entretien : toiture, ravalement de façade, ou même peintures intérieures, papiers peints, moquettes, si leur objectif est de maintenir un bon usage des locaux d'habitation.

Cette mesure est double car elle incite à un meilleur entretien des locaux d'un point de vue énergétique (chauffage, climatisation, ventilation) et sanitaire (peintures, papiers peints, moquettes...)

Une autre mesure est aussi le crédit d'impôts qui permet de bénéficier d'un crédit d'impôts d'une valeur jusqu'à 50% du prix du matériel acheté (hors main d'œuvre).

Depuis 2005, le crédit d'impôt est réservé aux équipements les plus performants en matière d'économies d'énergie (matériaux d'isolation thermique, chaudières économes en énergie, appareils de régulation de chauffage), aux équipements de production d'énergie utilisant une source d'énergie renouvelable (énergie solaire, éolienne, bois,) et à certaines pompes à chaleur.

Voici le tableau récapitulatif des valeurs des crédits d'impôts suivant le matériel acheté (source : www.climamaison.com):

LE CREDIT D'IMPOT	RESIDENCE PRINCIPALE		
	Résidence neuve ou en construction	Résidence construite depuis plus de 2 ans	Résidence achevée avant le 1 ^{er} janvier 1977 ¹
Equipements solaires (1)	50 %	50 %	50 %
Pompe à chaleur (2)	50 %	50 %	50 %
Chaudière Bois (3)	50 %	50 %	50 %
Chaudière à condensation gaz ou fioul (4)	-	25 %	40 %
Chaudière basse température gaz ou fioul (5)	-	15 %	15 %
Régulations programmables (6)	-	25 %	40 %
T.V.A	19,6 %	5,5 %	5,5 %

Ces crédits peuvent être très attractifs pour ceux qui veulent engager une grosse somme d'argent dans la rénovation ou la construction de leur maison mais il faut cependant en souligner un effet pervers qui est l'effet d'aubaine pour les vendeurs de ces équipements : une hausse des prix des panneaux solaires a en effet été constatée après l'apparition de ce crédit d'impôts qui n'était pas due à une nouvelle technologie donc une partie du crédit d'impôts se retrouve en fait dans la poche du revendeur.

V. Les bâtiments à énergie positive en France

1. Immeuble « Bonne Energie » à Grenoble, LFI

Ce futur bâtiment à énergie positive sera un immeuble de bureaux de 1600 m². La livraison est prévue pour mai 2009.

- Une centrale photovoltaïque en terrasse

Le bâtiment est équipé de 430 m² de panneaux photovoltaïques installés au dessus de la terrasse. L'installation apporte une ombre bienvenue à la fois pour l'usage de la terrasse mais également pour le confort thermique du dernier étage.

- Chauffage et rafraîchissement uniquement par air et ventilation naturelle

En hiver l'air chaud sera produit par une pompe à chaleur puisant l'eau de la nappe phréatique. En été cette pompe pourra être by passé pour assurer un échange direct avec la nappe permettant le rafraîchissement de l'air.

La ventilation naturelle sera privilégiée par ouverture des fenêtres et un système de sur-ventilation nocturne sera disponible en période estival pour vider la chaleur du bâtiment, dont les larges ouvertures seront alors sécurisées par des grilles anti-intrusion.

- Des fenêtres hautes technologies- 22% de la surface chauffée

Ces supports vont avoir de multiples fonctions, tels que clore le volume, éclairer sans éblouir, voir sans être exposés, capter les apports du soleil, éviter les déperditions thermiques...

Elles seront conçues selon un triple vitrage. Un volet intérieur, qualifié de bouchon thermique, permettra la nuit d'éviter toute perte de chaleur. Un store extérieur mobile, à lames orientables, assurera le contrôle de la lumière naturelle et des apports solaires.

- Une isolation optimisée

Quasiment sur-isolé, ce bâtiment fonctionnera comme une bouteille thermos permettant ainsi de garantir des dépenses de chauffages extrêmement réduites. Dans ce cas la question du confort portera essentiellement sur le trop chaud et pourra être assuré par une ventilation optimisée.



Besoins en chauffage : inférieur à 10 kWh/m²/an (100 kWh/m²/an pour un bureau classique)

Besoins en en électricité : inférieur à 30 kWh/m²/an qui seront totalement couverts par la production photovoltaïque.

Consommation annuelle d'électricité	Production annuelle d'électricité
47500 kWh	434300 kWh (soit 30.6 kWh/m ² chauffé)

Approche économique (les chiffres sont donnés à titre indicatif)

a. Evaluation des surinvestissements

- Surinvestissement lié à l'enveloppe : compris entre 150 et 250 € HT/an
- Surinvestissement bureautique : non mesurable
- Surinvestissement lié à la production d'électricité photovoltaïque : entre 200 et 275 €HT/m²

Bilan général : compris entre 350 et 525 €HT/m²

b. Cout de l'énergie dans le bâtiment de référence conforme à la RT 2005

Abonnement gaz	200€
Consommation de gaz (80 kWh/m ² /an)	4540€
Abonnement électrique (100kW)	1860€
Consommation électrique (115 kWh/m ² /an)	14700€

Total : **21300€ HT/an**

c. Cout de l'énergie dans le bâtiment projeté

Abonnement électricité 40 kW jaune	720€
Consommation d'électricité (25 kWh/m ² /an)	3195€
Souscription abonnement pour la revente du courant électrique	800€
Revente du courant à EDF (tarif : 0,55€/kWh)	23 900€

Total : **-19185€HT/an** (recette potentielle nette liée à la vente d'électricité)

Différentiel entre les couts d'exploitation de l'installation projetée et d'une installation type RT 2005 : **40.485€HT**

Dans le cas de l'hypothèse basse et d'un financement des travaux par un emprunt sur 20 ans (taux 4,5%), il est prévu que les annuités de remboursements soit égales aux économies engendrées. Ce n'est pas le cas dans l'hypothèse haute : le cout des remboursements dépasse les économies annuelles de 19000€.

Ainsi malgré son caractère très novateur et avant-gardiste, ce bâtiment est proche de l'équilibre économique, et il l'est même parfaitement dans le cas de l'hypothèse basse des surinvestissements.

2. Bâtiment « Green Office » à Meudon, Bouygues Immobilier

Cet immeuble de **23 300 m²** abritera 400 collaborateurs de Bouygues Immobilier sur la moitié de sa surface. Le permis de construire a été obtenu en août 2007 et la livraison est prévue pour **fin 2010**.



L'optimisation énergétique est basée sur la coexistence de trois installations :

- Des panneaux photovoltaïques, pour capter l'énergie solaire*
 La production d'énergie de l'immeuble sera assurée par **4 000 m²** de panneaux photovoltaïques placés : sur les façades, sur la toiture et les terrasses, en abris de parking, sur les places de stationnement extérieures.
- Une chaudière à cogénération biomasse : chaleur et électricité*
 L'immeuble sera doté d'une chaudière à cogénération biomasse, alimentée par de l'huile végétale, qui permettra de produire simultanément de la chaleur et de l'électricité.
 La production de chaleur couvrira l'intégralité des besoins de chauffage du bâtiment.
 L'électricité produite permettra de couvrir une partie des besoins en électricité de l'immeuble en complément de la production photovoltaïque.
- Une façade sophistiquée, gérant lumière, isolation et ventilation*
 Des ouvrants (ouverture motorisée permettant la ventilation naturelle) permettent l'ajustement permanent de la façade aux besoins de chauffage et refroidissement en fonction des périodes climatiques. La façade adapte son isolation et son étanchéité selon les contraintes climatiques et les besoins de confort.

GREENOFFICE A MEUDON

Bilan énergétique prévisionnel :

Consommation d'énergie 61 kWh/m ²	Production d'énergie renouvelable 64 kWh/m ²
Dont	
- <u>Electricité</u> : 38 kWh/m ²	- <u>Electricité</u> (par photovoltaïque, biomasse) : 41 kWh/m ²
- <u>Chauffage</u> : 23 kWh/m ² /an	- <u>Chaleur</u> par chaufferie Biomasse soit : 23 kWh/m ² /an

3. Tour Elithis à Dijon

Ce bâtiment tertiaire de **5.000 m²** de bureaux à énergie positive sur 10 niveaux sera le nouveau siège social de la société d'ingénierie Elithis. La livraison a été retardée à mi 2009.

- La toiture externe sera équipée de panneaux photovoltaïques intégrés (surface plane), producteurs d'électricité solaire, ce qui permettra de couvrir une grande partie des besoins électriques du bâtiment (**74 000 KW/an**).
- la production de chaleur et de froid reposera sur un système thermodynamique particulièrement performant, associé à une source de chaleur fonctionnant avec une énergie renouvelable (chaudière bois à granulés), et à un système de refroidissement adiabatique (sans échange de chaleur entre le système et son milieu).
- Grâce à un bouclier thermique transparent ménageant une vue dégagée, les espaces de travail bénéficieront d'une protection contre les rayonnements solaires, source de surchauffe et d'inconfort visuel. (voir image projet)
- Jusqu'à la mi-saison, un système de "free-cooling" à régulation mécanique permettra de rafraîchir les locaux gratuitement et de façon naturelle. Cet équipement permettra de lutter contre les hausses de température jusqu'à 27°, sans utiliser le système de refroidissement.

La limitation des consommations d'énergie sera également effective pour l'éclairage grâce à un système maîtrisé favorisant l'optimisation de l'apport de lumière naturelle. Ce principe sera renforcé grâce à des circuits d'éclairage contrôlés et différenciés selon la zone de travail et l'utilisation des locaux. De plus, ces derniers seront entièrement équipés de luminaires à économies d'énergie : tubes fluorescents et lampes LFC (fluorescentes compactes), dont le rendement et la durée de vie sont 10 fois supérieurs aux lampes incandescentes.



VI. Conclusion

Les bâtiments à énergies positives sont loin d'être des bâtiments impossibles à construire grâce à la technologie actuelle. Bien au contraire, toutes les compétences et les technologies nécessaires sont plus que présentes sur le marché d'aujourd'hui. En fait, seuls des obstacles d'ordre financiers apparaissent. Grâce aux nouvelles politiques de l'état vis-à-vis du protocole de Kyoto et du développement durable, ces obstacles sont de plus en plus en train d'être levés. Un bâtiment à énergie positive est avant tout un bâtiment bien dimensionné, et un bien isolé. Une bonne isolation permet de réduire jusqu'à 80% de la consommation d'énergie. Une bonne isolation, associés à des gestes simples peut ainsi réduire la facture énergétique de plusieurs centaines d'euros par an, et ce sans aucun autre investissement que l'investissement de départ. Facture réduite, pour le particulier, mais aussi pour la planète. Réduire la consommation énergétique des bâtiments, c'est réduire 50% de l'énergie française consommée. L'objectif est atteignable. Même à portée de main. Envoyer une sonde sur mars est un défi autrement plus complexe. Isoler des habitations et faire des études simples de dimensionnement des chauffages, des chauffe eau et des canalisations, est très simple avec les moyens actuels. C'est ce vers quoi la législation nous porte. Et c'est l'objectif prioritaire. Il faut avant tout réduire notre consommation énergétique de 80%. Produire nous même les 20% d'énergie restante est autrement plus complexe et plus délicat. C'est un autre objectif. Mais pas celui de demain. Tout le monde n'a pas les moyens nécessaires de produire cette énergie restante. S'atteler à produire de l'énergie propre est certes important, mais il est avant tout important de ne pas gaspiller cette énergie. 1 kWh d'énergie propre c'est bien, mais si c'est pour consommer à côté 2 kWh, quelle est l'utilité si on peut en économiser la moitié ? Le mot d'ordre de demain est donc avant tout l'économie d'énergie. Et tous les moyens devront être mis en place pour économiser cette énergie et pour sauvegarder notre planète.

VII. Bibliographie

<http://www.climamaison.com/>
<http://fr.ekopedia.org/>
<http://www.energiepositive.info/>
<http://energie.wallonie.be>
http://fr.wikipedia.org/wiki/Habitat_passif
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Micro-eolienne>
<http://www.lamaisonpassive.be>
<http://www.lamaisonpassive.fr>
<http://www.promodul.fr>
<http://www.xpair.com>
<http://www.energiesrenouvelables.org>
<http://energiesnouvelles.com>
<http://www.logement.gouv.fr>
<http://www.greenhouse.fr>
<http://www.cstb.fr/>