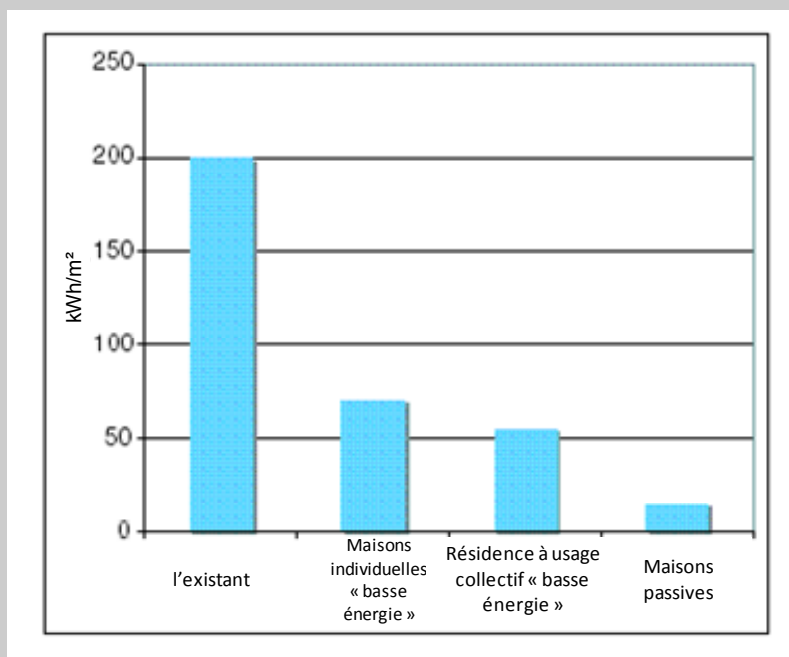


Les essentiels

Pascal LENORMAND
et Dr Anne RIALHE

AERE
Août 2009



Les essentiels

fr.leonardo-energy.org

Table des matières

<u>1. Introduction : la route vers des maisons très basse énergie</u>	6
<u>2. La segmentation des habitats au regard de l'énergie</u>	6
2.1 Les différents types de maison	6
2.2 La consommation d'énergie pour le résidentiel dans l'Union Européenne	7
2.3 Les différents labels nationaux pour les maisons basse énergie	8
2.3.1 PassivHaus	9
2.3.2 Minergie®	10
2.3.3 LEED	11
2.3.4 Comparaison entre PassivHaus, Minergie® et LEED	12
<u>3. Utilisation de l'énergie dans le domaine résidentiel</u>	14
3.1. Chauffage	15
3.1.1 Systèmes passifs	15
3.1.2 Systèmes actifs	20
3.1.3 Comportement	23
3.2 Le refroidissement	24

Les maisons à très basse énergie

fr.leonardo-energy.org

3.2.1	Systèmes passifs	25
3.2.2	Systèmes actifs	27
3.2.3	Comportement	27
3.3	Appareils électriques	28
3.3.1	Technologies.....	28
3.3.2	Comportement	29
3.4	L'eau chaude	30
3.4.1	Technologies.....	30
3.4.2	Comportement	31
3.5	Cuisson	33
3.5.1	Equipement de cuisson traditionnel amélioré	33
3.5.2	Cuisson par énergie alternative	33
3.5.3	Comportement	34
<u>4.</u>	<u>Avantages des constructions basse énergie</u>	34
4.1	Financier	34
4.2	Social	35
4.3	Politique	35
<u>5.</u>	<u>Conclusion</u>	36
<u>6.</u>	<u>Références bibliographiques</u>	37

Résumé

Avec l'attention sans cesse croissante portée à la protection environnementale et aux prix de l'énergie, les bâtiments résidentiels basse énergie, autrefois très confidentiels, deviennent aujourd'hui de plus en plus populaires en Europe. Il y en a actuellement plus de 6 000 uniquement en Allemagne, en Suisse et en Autriche. Cependant, le terme "maison basse énergie" recouvre une large gamme de concepts et de technologies qu'il convient de resituer dans leur propre contexte. C'est le propos de cet article.

Depuis la conférence de Rio et le protocole de Kyoto, de nombreuses personnes ont pris conscience du problème du réchauffement climatique global. L'énergie est responsable de 85 % des émissions de gaz à effet de serre. Des efforts ont été faits, mais deux secteurs ne cessent de croître : les transports et le bâtiment. La situation énergétique actuelle va dans le sens du concept de la construction basse énergie.

Cet article démontre que, bien que les technologies et l'architecture jouent un rôle important, le comportement individuel a un impact majeur à deux niveaux. Le premier porte sur le choix des technologies, qui relève toujours d'un choix personnel, et le second relève de la façon dont les technologies sont utilisées dans la vie quotidienne. Il est donc particulièrement important de se concentrer sur l'éducation des résidents, en termes d'habitat basse énergie.

La remise à niveau reste un point critique, du fait du très grand nombre de résidences anciennes, très peu efficaces en Europe. Negawatt mentionne que, pour la France seulement, ramener la consommation dans chaque bâtiment antérieur à 1975 à 50 kWh / m² par an demanderait une mise à niveau de 450 000 bâtiments par an pendant 45 ans.

Un point reste cependant confus : la capacité locale à construire des habitats réputés basse énergie et l'approbation culturelle de l'industrie du bâtiment. Nous démontrerons que des améliorations massives sont nécessaires dans le domaine des matériaux et des méthodes de construction. Jusqu'à quel point les entreprises sont-elles prêtes à accepter ces changements dans leurs habitudes de travail aujourd'hui ? Comment les réglementations locales doivent-elles être adaptées pour encourager de meilleures pratiques en terme énergétique, comme cela a été fait dans le domaine électrique par le passé ?

1. Introduction - la route vers des maisons très basse énergie

Avec l'attention sans cesse croissante portée à la protection environnementale et aux prix de l'énergie, les bâtiments résidentiels basse énergie, autrefois très confidentiels, deviennent aujourd'hui de plus en plus populaires en Europe. Il y en a actuellement plus de 6 000 uniquement en Allemagne, en Suisse et en Autriche. Cependant le terme "maisons basse énergie" recouvre une large gamme de concepts et de technologies qu'il convient de resituer dans leur propre contexte. C'est le propos de cet article.

Définition : qu'est-ce qu'une maison basse énergie ?

Bien que les concepts de base soient largement connus, la recherche et le développement dans différents pays ont conduit à des interprétations variées du concept de maison basse énergie. Wolfgang Weiss, l'inventeur du concept de PassivHaus, a établi sa référence en termes de maisons basse énergie à partir de la consommation énergétique moyenne de chauffage. Dans les résidences européennes, elle s'élève environ à 200-250 kWh/m² par an.

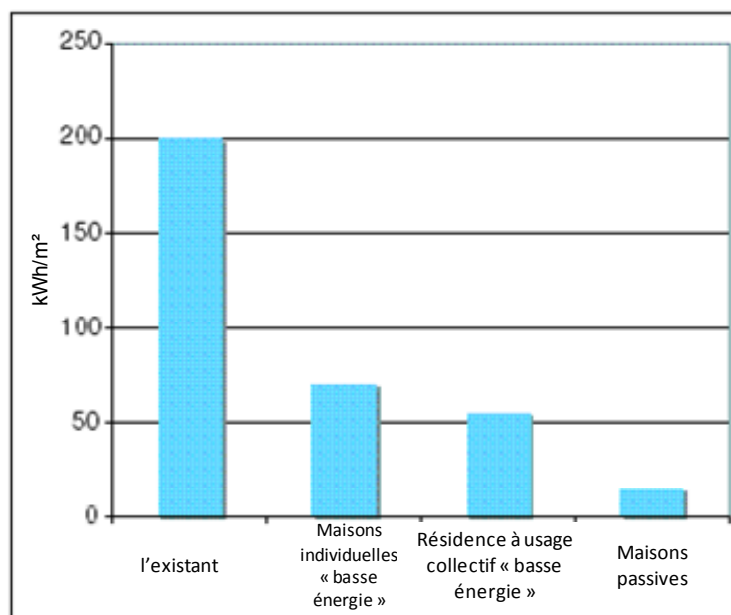


Figure 1: définition des maisons basse énergie à partir de comparaisons sur le chauffage

Bien au-delà de la notion de « maisons basse énergie » en termes d'amélioration des performances énergétiques, on définit les « maisons passives » comme ayant une demande moyenne de chauffage inférieure à 15 kWh/m² par an, ce qui correspond à

Les essentiels

fr.leonardo-energy.org

moins de 10 % de la consommation d'une résidence standard moyenne.

Il faut également mentionner l'évolution des maisons passives vers les maisons dites énergie zéro, ou même à énergie positive. Il existe en effet des maisons utilisant une ou plusieurs unités de production d'énergie renouvelable ajoutées au bâtiment de façon à ce que le bilan énergétique total (production totale annuelle comparée à la consommation totale annuelle) soit nul ou positif⁽¹⁾. Ceci, bien sûr, n'a de sens que pour un bâtiment particulièrement optimisé, même s'il n'est pas passif.

Nous commencerons cet article en détaillant les différences entre chaque type de bâtiments, ce qui nous amènera à déterminer clairement le besoin en termes de solutions adaptées. Il existe de nombreuses possibilités, mais certaines d'entre elles, mises en évidence par cette méthode de classement, ont acquis plus de reconnaissance et offrent des lignes directrices concrètes sur un projet.

Une fois la trame générale établie, nous serons en mesure de discuter des différentes technologies disponibles pour chaque énergie adaptées aux bâtiments très basse énergie, sans perdre de vue le rôle important joué par le comportement individuel.

Nous concluons par un élargissement de notre point de vue, en examinant les divers impacts (financiers, sociaux et politiques) d'une réduction massive de la consommation d'énergie dans l'habitat résidentiel.

2. La segmentation des habitats au regard de l'énergie

2.1 Les différents types de maison

La population de l'Union Européenne (UE-25) n'a cessé d'augmenter depuis 1945 jusqu'à son niveau actuel d'environ 450 millions d'habitants.

Cette population occupe 170 millions de résidences pour une densité moyenne d'environ 170 hab./km². Ce chiffre est significatif d'une structure fortement urbanisée. A titre de comparaison, la densité de population aux USA est de 30,2 hab./km².

Il existe différentes méthodes pour classer les résidences qu'il convient de séparer en résidences individuelles ou à usage collectif. Cette distinction, comme nous le verrons plus loin, a une influence sur les techniques de construction et les systèmes d'énergie disponibles.

⁽¹⁾ Habituellement, les équipements producteurs d'énergie intégrés au bâtiment, les installations techniques et unités de production d'énergie renouvelable ne sont pas inclus dans le bilan énergétique.

Les maisons à très basse énergie

Une autre forme de classification intéressante est d'utiliser l'âge de la résidence. La logique de la mise en œuvre de technologies hautes performances est relativement normale dans une construction nouvelle (en se plaçant d'un point de vue financier et culturel). Ce n'est bien évidemment pas le cas dans le cadre de la remise à niveaux des autres habitats résidentiels.

2.2 La consommation d'énergie pour le résidentiel dans l'Union Européenne

Une information directe concernant la consommation énergétique pour le résidentiel dans l'U.E. nous est offerte dans "the Human Settlements Bulletin" publié par la commission économique pour l'Europe des Nations Unies.

Comme nous l'avons déjà indiqué, le parc résidentiel dans l'U.E. aujourd'hui est d'environ 17 millions d'unités. La figure 2 fournit leur répartition en âge (données concernant 15 pays de l'U.E.-25).

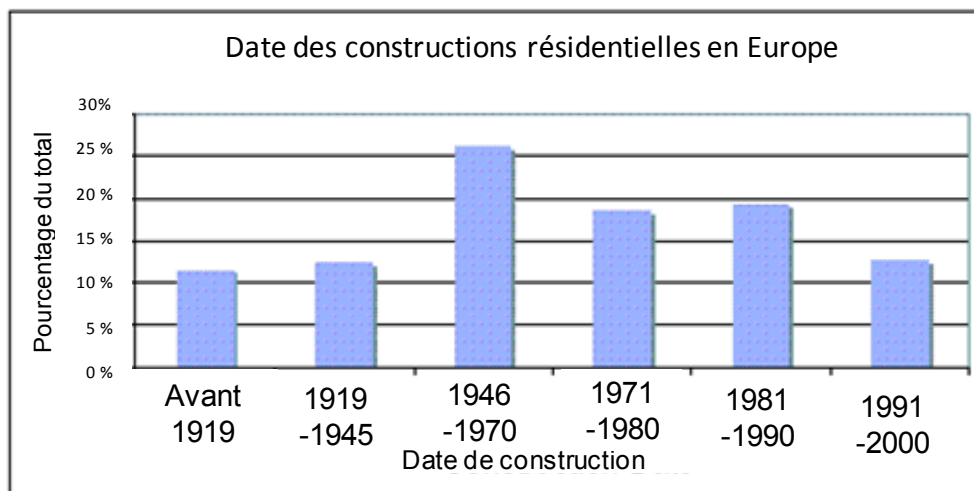


Figure 2 : âge des résidences en Europe

Comme on peut le voir, environ 50 % des résidences ont été construites avant 1970, à une époque où l'énergie était bon marché et abondante et les changements climatiques n'étaient pas d'actualité. Cela a conduit logiquement à une consommation d'énergie élevée. De plus, environ 27 % des résidences ont été construites après la seconde guerre mondiale, dans l'urgence, avec des techniques de consommation d'énergie sans vue durable.

Il faut également noter qu'entre 1993 et 2003, 12 % des soi-disant nouvelles résidences étaient en fait de la remise à niveau, mettant en évidence la faiblesse de cette activité, et expliquant partiellement le pourcentage très élevé de vieilles habitations en Europe.

Les essentiels

fr.leonardo-energy.org

Si l'on tient compte de ces trois facteurs simultanément, cela conduit à la consommation d'énergie moyenne de 200 à 250 kWh/m² par an observée en Europe de nos jours (sources : www.passiv.de et la construction écologique, éd. Terre Vivante).

Un autre aspect important à prendre en considération est l'évolution du parc. La figure 3 fournit l'évolution du parc immobilier, en termes de nombre de résidences et de surface au sol moyenne.

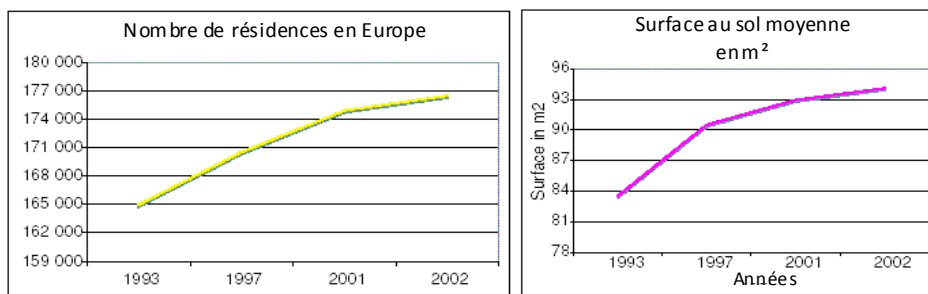


Figure 3 : évolution du parc de résidences depuis 1993

Ces graphes montrent un accroissement significatif de ces deux grandeurs. Cette situation, si elle n'est pas compensée par d'énormes améliorations dans les techniques de construction, conduira très certainement à une augmentation constante des consommations énergétiques, avec tous les inconvénients associés.

2.3 Les différents labels nationaux pour les maisons basse énergie

La nécessité d'améliorer le processus complet de construction est clairement visible. Plusieurs pays ont développé des méthodes de labellisation ou de désignation afin de standardiser, de contrôler et de promouvoir de meilleures pratiques concernant les habitations à faible demande énergétique. Nous nous intéresserons de plus près à trois de ces schémas : le label allemand PassivHaus, le label suisse Minergie® et le label américain LEED.

Une information officielle et détaillée concernant ces trois labels est consultable sur les sites Web suivants :

- PassivHaus: www.passiv.de
- Minergie® : www.minergie.ch
- LEED: www.usgbc.org/leed

2.3.1 PassivHaus

Le « PassivHaus Institute » à Darmstadt en Allemagne est fortement concerné par les considérations énergétiques. Il propose le label Maison Passive pour les bâtiments qui satisfont à ces normes. La définition technique de ce label est très claire et précise pour des conditions climatiques de la zone entre le 40^{ème} et le 60^{ème} degré de latitude dans l'hémisphère nord.

Plus précisément, une maison peut être certifiée PassivHaus (Maison Passive) lorsque les trois critères suivants sont respectés :

1. Une température intérieure confortable peut être maintenue sans utilisation de chauffage central ou de climatisation. La demande annuelle pour ce type de résidence doit par conséquent se situer à une valeur inférieure à 15 kWh/m² par an dans le projet.
2. Les critères de confort doivent être respectés dans toutes les pièces aussi bien en hiver qu'en été. Pour atteindre ce but, le label exige des niveaux d'isolation très précis pour chaque élément de la construction :
 - chaque surface extérieure doit présenter des valeurs de U inférieure à 0.15 W/(m².K)
 - chaque fenêtre doit présenter des valeurs de U inférieure à 0.8 W/(m².K), ainsi que de sévères restrictions quant à la surface relative de la fenêtre.

Il existe également des contraintes fortes sur l'orientation, les surfaces et les possibilités d'ouverture et de fermeture des éléments transparents, selon la construction et l'orientation de la résidence. Les taux de ventilation sont strictement contrôlés.

3. La quantité totale d'énergie primaire, tout usage confondu (chauffage, eau chaude et électricité spécifique), ne doit pas dépasser 120 kWh/m² par an. Le calcul est fourni dans le projet.

Chaque bâtiment est vérifié à sa livraison, avec une attention toute particulière pour la bonne réalisation des étanchéités. La PassivHaus propose également un service de labellisation pour les éléments séparés (portes, fenêtres, cloisons, etc.). Cette méthode garantit que les projets satisfont toutes les exigences une fois réalisés.

Depuis les années 80, date de sa création, plus de 5 000 projets ont été réalisés en Allemagne, 1 000 en Autriche et, plus récemment, environ 100 au Bénélux.

Les essentiels

fr.leonardo-energy.org

2.3.2 Minergie®

Le label Minergie®, qui n'est, à ce jour, disponible qu'en Suisse et au Liechtenstein, est très similaire dans le principe au concept PassivHaus. Il stipule des niveaux d'utilisation d'énergie très précis, particulièrement dans la version Minergie P®. La procédure Minergie® est applicable à tous les types de bâtiment (résidences à usage collectif, hôpitaux, bâtiments industriels, etc.).

Il existe deux façons différentes pour obtenir la certification Minergie® ; la première consiste à utiliser les solutions standards et ne s'applique qu'aux maisons individuelles. Ces solutions recouvrent trois points :

1) Valeur d'isolation très précise pour chaque élément de construction

Eléments de construction	Valeur si en contact avec l'environnement ou enterré à moins de 2 m	Valeur si en contact avec les pièces non chauffées ou enterré à plus de 2 m
Toit, plafond	0,20 W/(m².K)	0,25 W/(m².K)
Murs		0,28 W/(m².K)
Planchers		0,28 W/(m².K)
Planchers chauffants		0,25 W/(m².K)
Fenêtres	1,30 W/(m².K)	1,60 W/(m².K)
Portes	1,60 W/(m².K)	2,00 W/(m².K)

Tableau 1 : exigences d'isolation pour les solutions Minergie® standards

2) Un choix parmi cinq solutions pour la production et la distribution de chaleur

Solution standard	1	2	3	4	5
Système	Pompe à chaleur géothermique	Chaudière à bois + chauffage solaire de l'eau	Système automatique au bois	Récupération de chaleur (industrie, incinérateur, etc.)	Pompe à chaleur air eau

Tableau 2 : solutions techniques disponibles pour la production de chaleur et d'eau chaude dans les solutions Minergie® standards

Avec tous ces systèmes, l'utilisation d'un échangeur à double flux de chaleur avec un rendement de 80 % est obligatoire.

Les maisons à très basse énergie

3) Les coûts supplémentaires liés aux solutions Minergie® standards ne doivent pas dépasser de 10 % le coût des solutions conventionnelles (15 % pour Minergie P®)

La seconde façon d'obtenir la certification Minergie®, qui est en fait la seule pour les résidences à usage collectif, consiste à utiliser une méthode de contrôle sur les performances du bâtiment. Celles-ci sont très détaillées mais nous nous focaliserons sur certains aspects de ces exigences :

- elles sont différentes pour les maisons privées et pour les édifices publics
- elles sont différentes pour les nouveaux bâtiments et pour les projets de rénovation
- elles doivent être adaptées aux conditions climatiques spécifiques (principalement l'altitude)

Type de bâtiment	Résidences à usage collectif	Maisons individuelles	Immeubles commerciaux	Hôpitaux	Industries	Installations sportives
Valeur maximale (tout usage) en kWh/m ² par an	42	42	40	75	20	25

Tableau 3 : quelques exigences dans la procédure Minergie®

Le site Web www.minergie.ch indique de plus qu'il y a environ 5 700 structures officiellement labellisées Minergie®. Bien que le label Minergie P®, plus récent, ne bénéficie pas de la même reconnaissance du nom, l'institut a récemment promu un nouveau label premium. Il s'agit de Minergie Eco® et concerne l'utilisation de matériaux recommandés sur le plan environnemental et les méthodes.

2.3.3 LEED

LEED est l'acronyme pour « Leadership in Energy and Environmental Design » (Leadership en Conception pour l'Energie et l'Environnement). Son système d'évaluation de construction durable (« Green Building Rating System® ») est un standard national consensuel basé sur le volontariat pour le développement des bâtiments durables hautes performances. Le « Green Building Council » américain a construit ce cadre et sept labels ont été créés ; chaque label correspond à un certain type de projet de construction (LEED H pour les maisons, LEED EB pour les bâtiments existants, etc.).

Le processus de certification est basé sur une liste complète de critères qui va bien au-delà de l'utilisation de l'énergie dans les maisons. Des aspects tels que les transports, l'impact visuel sur le voisinage, l'utilisation de matériaux locaux, etc. sont également pris en compte. LEED utilise les exigences du label "Energy Star" comme base de la consommation énergétique dans les maisons. Elles obligent à 15% de réduction

Les essentiels

fr.leonardo-energy.org

comparées aux règles de l'IECC (International Energy Conservation Code) de 2006. Ces règles très détaillées sont finement ajustées au climat local et imposent en conséquence les éléments et les techniques de construction. L'information complète est disponible sur www.energycodes.gov.

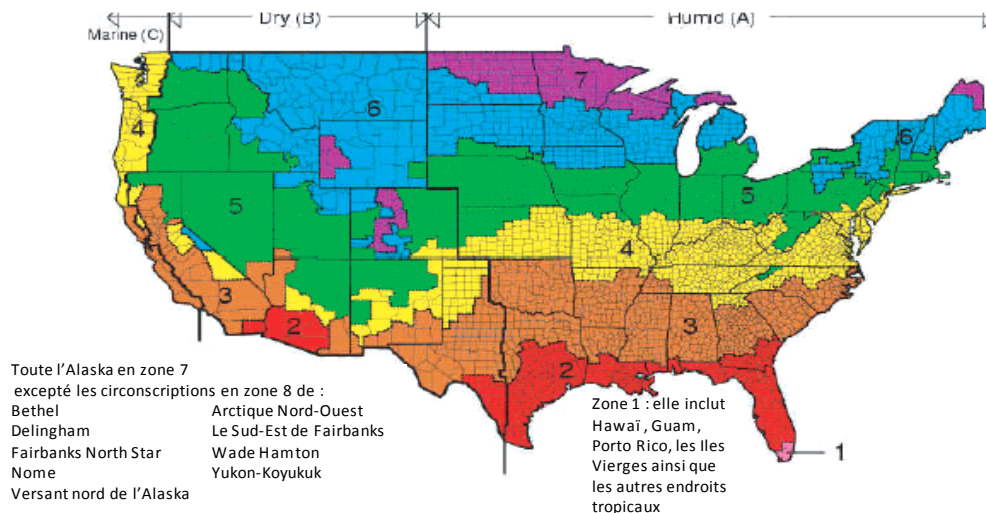


Figure 4 : zones climatiques, telles qu'elles sont définies dans l'IECC 2006

Certains niveaux de base sont obligatoires pour la certification. Des performances améliorées apportent un bonus. La notation finale propose quatre niveaux de performance (certifié, argent, or et platine). Bien que la plupart des projets soient implantés en Amérique du Nord, certains sont également localisés en Europe.

LEED est un bon exemple d'une vision plus large que le simple bâtiment basse énergie, en prenant en compte non seulement l'utilisation de l'énergie, mais également le cycle complet de construction, le type d'activité, le temps de vie et la démolition.

2.3.4 Comparaison entre PassivHaus, Minergie® et LEED

Du fait que les exigences en termes de consommation de l'énergie, lorsqu'elles existent, varient en fonction des conditions climatiques et des caractéristiques spécifiques des projets, le moyen le plus simple de comparaison entre les labels est de comparer leurs exigences sur le plan technique, et particulièrement les valeurs requises pour l'isolation.

La figure, ci-après, compare certaines exigences, l'EnergyStar résultant est estimé pour la zone 5, basées sur les exigences de l'IECC.

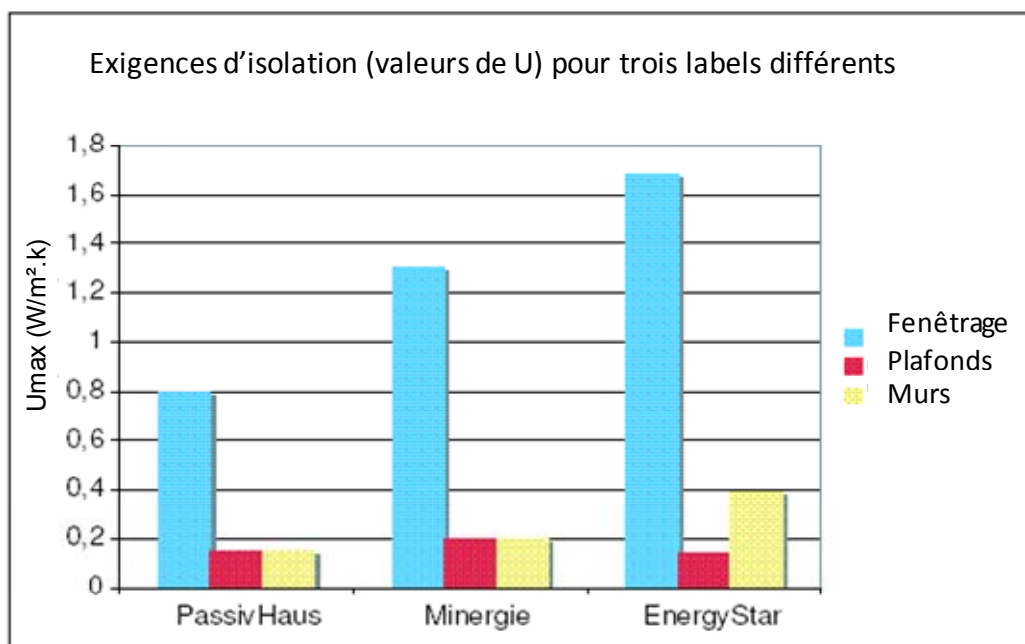


Figure 5 : comparaison des exigences sur les valeurs d'isolation

La grande influence du fenêtrage (organisation et nombre de fenêtres), bien connue en analyse thermique des constructions, apparaît ici très clairement. Les trois labels ont des exigences différentes, PassivHaus étant le plus exigeant, permettant ainsi une comparaison facile quant à l'énergie de chauffage.

Cependant, le travail est plus difficile pour les autres aspects car la perspective diffère pour les trois labels.

	Chauffage de l'eau, chauffage	Autres utilisations	Matériaux naturels locaux	Transports	Qualité de l'air intérieur	Gestion de l'eau	Formation
PassivHaus	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Minergie®°	Oui	Minergie-P®	Minergie- Eco®	Non	Non	Non	Non
LEED	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui

Tableau 4 : comparaison du champ d'application pour les trois labels

La plupart des aspects du tableau 4 ont une dimension énergétique. Les transports en sont un bon exemple ; un nombre croissant de personnes sont en train de réaliser qu'il est inutile de construire une maison basse énergie si cela doit augmenter l'utilisation de la voiture.

Finalement, il convient également de noter que ces labels ne sont attribuables que par une organisation de contrôle, qui n'est pas nécessairement disponible localement. Minergie®, par exemple, n'est disponible qu'en Suisse et au Liechtenstein. Cependant, les critères et les évaluations peuvent jouer un rôle précieux pour s'en inspirer et fixer des lignes directrices pour tout type de projet.

3. Utilisation de l'énergie dans le domaine résidentiel

Les labels définissent les objectifs à atteindre lors de la réalisation (aussi bien en neuf qu'en rénovation) et parfois proposent des recommandations sur les technologies à utiliser. De nombreuses technologies dédiées à l'efficacité énergétique peuvent être mises en œuvre pour améliorer la performance globale de n'importe quel bâtiment sur la base de son environnement géographique et le type d'utilisation, en fonction des habitudes culturelles des usagers (particulièrement la façon dont ils s'habillent en hiver et en été).

Les technologies n'étant rien d'autres que les outils utilisés pour transformer un transfert d'énergie en un service, nous proposerons dans ce chapitre une liste de technologies dédiées à l'efficacité énergétique classées en fonction de leur utilisation finale.

Nous introduirons également une sous-classification de ces systèmes selon le type d'énergie mis en jeu.

- **Systèmes passifs** : prévus pour faire un usage optimal des énergies naturelles, sans apport extérieur d'énergie (aussi bien l'électricité que tout autre type d'énergie à base de carbone) ;
- **Systèmes actifs** : utilisant un apport extérieur d'énergie (aussi bien l'électricité que tout autre type d'énergie à base de carbone);
- **Comportement** : bien que n'étant pas traditionnellement considérées comme de la technologie, les actions comportementales (à savoir, la modification de l'interaction entre les habitants et l'habitat) sont un élément clé dans les habitations basse énergie.

Pour chacun de ces systèmes, nous proposerons des éléments sur les exigences des différents labels et une description des possibilités d'implantation.

3.1 Chauffage

3.1.1 Systèmes passifs

Considérations générales

Le meilleur moyen de réduire la consommation d'énergie est d'utiliser toutes les énergies naturelles disponibles. C'est l'objet d'un design bioclimatique qui est une voie vers la maison basse énergie. L'approche bioclimatique s'effectue à deux niveaux :

1. laisser l'énergie du soleil pénétrer
2. ne pas la laisser s'échapper

Les meilleurs équipements passifs pour laisser l'énergie du soleil pénétrer sont les fenêtres. Dans les maisons basse énergie, les fenêtres orientées sud se comportent comme des absorbeurs d'énergie. Le bâtiment entier peut être conçu de façon à ce que cette énergie puisse être emmagasinée par la façade sud.



Figure 6 : BedZed, avec des murs orientés sud absorbant le soleil

Installer de grands espaces orientés sud est habituellement assez facile dans la démarche de conception d'un nouveau bâtiment. Cela peut être plus problématique dans les programmes de rénovation, en particulier à cause de l'orientation globale du bâtiment. Dans ce cas, un simple élargissement des fenêtres existantes peut aider grandement.

Des éléments comme des stores réfléchissants peuvent également favoriser la pénétration de l'énergie solaire dans la maison. Lorsque ceux-ci sont correctement

Les essentiels

fr.leonardo-energy.org

orientés, ils peuvent augmenter l'entrée d'énergie de 25 % ou plus.

La seconde étape dans la démarche bioclimatique pour maintenir des niveaux de chauffage sans déperdition d'énergie consiste à réduire les pertes énergétiques. La liste des actions possibles est relativement longue mais en voici les points les plus usuels :

- réduire les surfaces d'échange : conception de bâtiments compacts, avec pour but de réduire le rapport volume à surface (figure 7). Les labels mentionnés ci-dessus ne font pas mention de la compacité dans leur critère, bien que LEED le fait indirectement dans deux chapitres :
 - chapitre utilisation du terrain : actions optionnelles
 - * 5.1 Construire des maisons avec une densité moyenne d'occupation de sept bâtiments ou plus pour 4 000 m² de terrain constructible. (1 Point) OU
 - * 5.2 Construire des maisons avec une densité moyenne d'occupation de dix bâtiments ou plus pour 4 000 m² de terrain constructible. (2 Points) OU
 - * 5.3 Construire des maisons avec une densité moyenne d'occupation de vingt bâtiments ou plus pour 4 000 m² de terrain constructible. (3 Points)
 - chapitre matériaux et ressources
- réduire les pertes calorifiques au travers des surfaces : utilisation d'isolation épaisse et efficace sur toutes les surfaces (murs, plafonds et planchers); utilisation de fenêtres efficaces, double ou triple vitrage. Du fait que les matériaux sont normalisés et vendus avec une valeur d'isolation et de performance données, ce point devrait être facilement réalisable.
- éviter les pertes calorifiques entre les surfaces : cet aspect, qui peut être obtenu en choisissant les matériaux adaptés, est souvent ignoré. Dans les habitats bien isolés, les pertes dues à la ventilation dans les exigences de chauffage du bâtiment deviennent plus importantes. Dans les maisons passives, l'étanchéité du bâtiment est aussi importante que l'isolation. D'où l'exigence spéciale pour les labels Minergie® et Passivhaus d'effectuer un test de porte soufflante, ce qui est obligatoire avant la certification du bâtiment.

Les maisons à très basse énergie

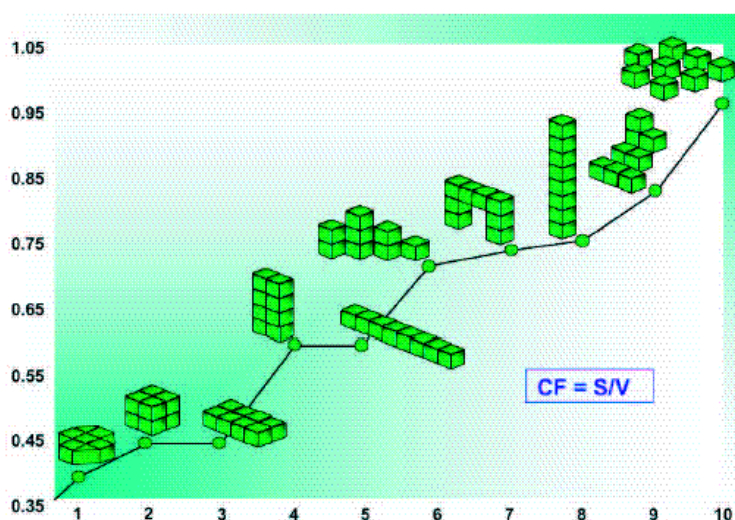


Figure 7: même volume, surface variable

Taille de la maison en pieds carré par nombre de chambres à coucher (Voir note 1)					Score
0 Chambre à coucher	1 Chambre à coucher	2 Chambres à coucher	3 Chambres à coucher	4 Chambres à coucher ou plus	
275	350	750	900	1150	10
350	400	875	1100	1450	8
425	500	1000	1300	1750	6
500	600	1125	1500	2050	4
575	700	1250	1700	2350	2
650 SF	800 SF	1375 SF	1900 SF	2650 SF	0
725	900	1500	2100	2950	-2
800	1000	1625	2300	3250	-4
875	1100	1750	2500	3550	-6
950	1200	1875	2700	3850	-8
1025	1300	2000	2900	4150	-10
> 1025	> 1300	> 2000	> 2900	> 4150	(Voir note 2)

Note 1 : une chambre à coucher est une pièce contenant des toilettes et avec un accès direct à une salle de bains, c'est-à-dire, une pièce autre qu'une cuisine, une salle de bains, un séjour, une salle à manger, une pièce télé, une buanderie, un corridor ou une surface non terminée en sous-sol.

Note 2 : détermine le score selon la taille pour les maisons plus grandes que le résultat fourni par la colonne adaptée en soustrayant un point supplémentaire pour chaque incrément de taille ajouté, comme présenté dans l'extrait MR1-B ci-dessous.

Figure 8 : points pour la taille de la maison comparée à la moyenne dans le système de notation LEED

Source : Extrait MR1-A



Figure 9 : porte soufflante (www.fh-ooe.at)

Influence du contenu énergétique

Une question qui mérite d'être posée est de savoir si la rentabilité énergétique de l'isolation constitue un retour sur investissement sur la durée de vie du matériau, et donc à savoir si améliorer l'isolation améliore la performance énergétique. La figure 10 présente un calcul pour de la fibre de verre de densité 12 kg/m^3 , $\lambda = 0,041 \text{ W/}^\circ\text{C.m}$ et de contenu énergétique $7,34 \text{ kWh/kg}$ (source: ekoinventare pour Equer, www.izuba.com, calcul AERE).

Le premier graphique montre la comparaison entre le contenu énergétique total de l'isolation et la consommation totale d'énergie au cours de la durée de vie du matériau. Tant que la droite se situe sous la courbe, l'énergie investie dans plus d'isolation est rentable sur la durée de vie du matériau et cela mérite donc d'effectuer les travaux de réalisation.

Comme on le voit ici, pour les conditions spécifiées (durée de vie 10 ans, avec une période de chauffage de 2 400 h à $\Delta T = 20^\circ\text{C}$), avec une épaisseur de 47 cm (ce qui, dans ce cas, signifie que $R = 11,4 \text{ m}^2.\text{K/W}$ soit 60 % de plus que ce qui est requis par le label PassivHaus), la fibre de verre rembourse son contenu énergétique durant la durée de vie du projet.

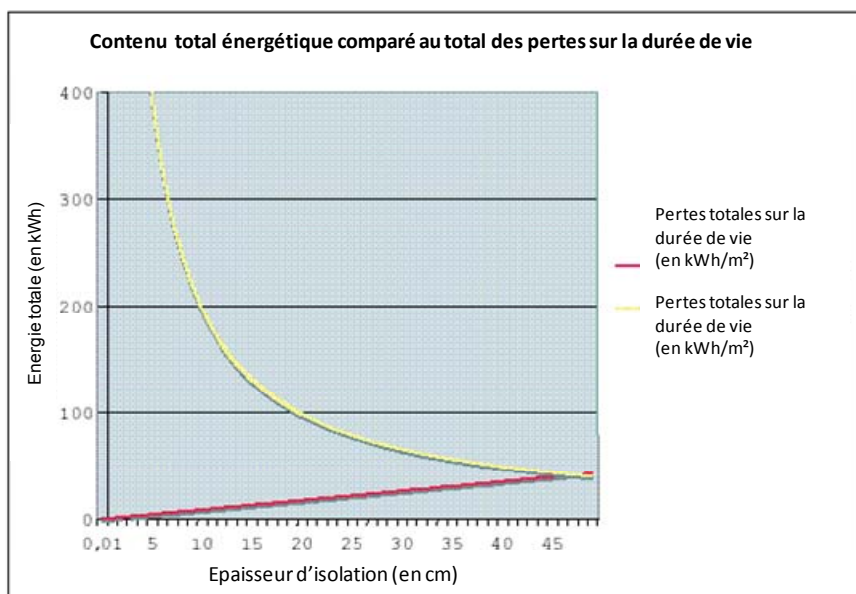


Figure 10 : Comparaison entre le contenu énergétique et les économies d'énergie

La figure 11 présente les mêmes données sous un autre point de vue : combien sera économisé par un centimètre supplémentaire d'isolation sur la durée de vie du matériau, pour une épaisseur d'isolation donnée. On peut alors calculer, pour une épaisseur donnée, le remboursement ou le temps de retour sur investissement pour ce centimètre supplémentaire. Si ce temps dépasse le temps de vie du matériau, le coût n'est pas rentable.

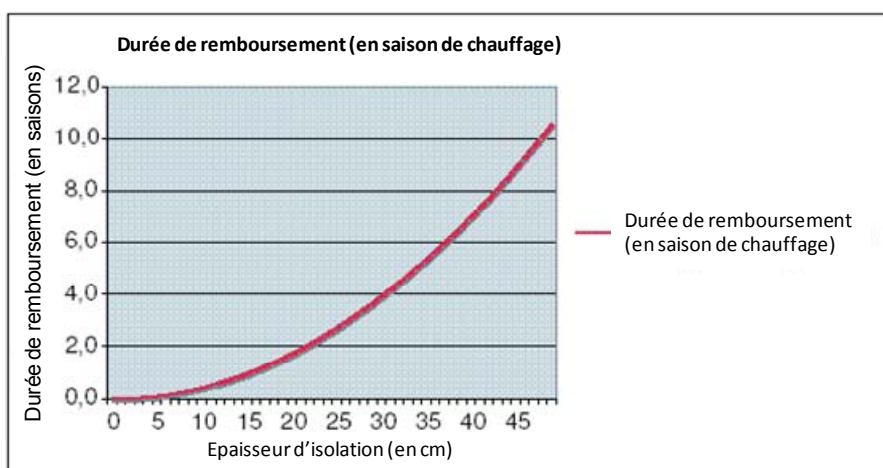


Figure 11 : durée de remboursement (retour sur investissement) d'un centimètre supplémentaire d'isolation

Les essentiels

fr.leonardo-energy.org

Ici aussi, on peut observer que l'isolation peut atteindre jusqu'à 47 cm et continuer à réduire la consommation d'énergie sur la durée de vie.

Le coût n'est pas justifié, sauf dans des cas extrêmes (durée de vie extrêmement courte, saison de chauffage très courte et/ou tempérée, etc.). L'influence du contenu énergétique est également très visible, mettant en évidence le bénéfice à tirer de matériaux d'isolation à bas contenu énergétique, comme la plupart des matériaux naturels (chanvre, cellulose, laine de bois, etc.). Ces matériaux procurent le meilleur bénéfice en termes d'efficacité énergétique globale.

L'inertie

L'utilité de l'inertie est moins bien connue. Il s'agit d'utiliser des matériaux massifs ou des masses thermiques qui peuvent conserver la chaleur dans leur structure et la restituer lorsque la température baisse. Le positionnement et le dimensionnement de ces équipements architecturaux doivent être faits soigneusement afin que le bâtiment soit en harmonie avec son environnement et les besoins de ses occupants. Ce paramètre est très important pour le confort en été et joue un grand rôle dans la façon dont le bâtiment réagit aux entrées passives du soleil.

Le meilleur exemple en est le mur Trombe, à l'intérieur duquel un élément massif est placé derrière une fenêtre. Tant que le soleil brille, le mur emmagasine de la chaleur et continuera de la restituer même en cours de nuit. En fait, les éléments massifs jouent un rôle de régulateur, au même titre qu'un barrage sur une rivière. Dans certaines situations particulières, il peut être intéressant de planifier un stockage de chaleur, aux inter-saisons pour augmenter l'effet inertiel.

Le but est de stocker l'excès de chaleur en été dans des éléments énormes ou massifs (parfois en sous-sol, en utilisant le sol lui-même, parfois sous la forme de gigantesques réservoirs d'eau).

3.1.2 Systèmes actifs

Systèmes de ventilation

Une fois que la demande de chauffage a été réduite au minimum grâce à une conception globale adaptée, un système de chauffage complémentaire peut être nécessaire, spécialement dans les programmes de rénovation ou dans les habitations à usage collectif, où des ajustements individuels risquent d'être plus difficiles à réaliser grâce à des solutions uniquement passives.

Un système actif est déjà intégré dans le concept de maison passive pour réduire la demande d'énergie au minimum. Comme nous l'avons vu, les maisons à basse demande énergétique sont pratiquement étanches, la ventilation étant assurée par un système

HVAC (Chauffage Ventilé et Air Conditionné), qui est en fait une pompe à chaleur air-air fonctionnant par extraction d'air, avec un rendement de 75 à 80 %. Ce système particulier de pompe à chaleur est en fait une clé de voûte. Il est obligatoire dans les systèmes Minergie® et Passivhaus, et une constante dans tous les bâtiments normalisés basse énergie. Pour un rendement supplémentaire, il peut être couplé avec un échangeur de chaleur air-sol (EAHX, souvent appelé « puit canadien » en Europe). Le fait que la perte calorifique liée au renouvellement de l'air représente un tiers des pertes dans les bâtiments classiques et près de 70 % dans les constructions bien isolées justifie l'intérêt à prêter à ces systèmes.

Il faut cependant remarquer que ce type d'équipements, bien que relativement facile à implanter dans les constructions neuves, est plus difficile à ajouter lors de rénovations, imposant des travaux lourds (installation de systèmes de ventilation bidirectionnels). Ils sont toutefois utilisés de nos jours dans divers bâtiments modernes, à usage aussi bien individuels que collectifs.

Systemes de chauffage

Dans le cas des maisons passives, la théorie dit qu'un système complémentaire de chauffage ne devrait pas être nécessaire. C'est le but premier du concept originel et cela doit suffire pour maintenir le confort en présence d'occupants et de sources de chaleur parasites. Il faut cependant noter que Scandinavian Homes, constructeur de maisons passives en série, ajoute une résistance électrique de 900 W au système HVAC par sécurité.

Pour les maisons basse énergie plus traditionnelles, le défi consiste à réduire au maximum la demande en chauffage qui devient de ce fait trop faible pour les équipements disponibles sur le marché. Une maison Minergie® de 100 m², par exemple, avec une demande de 35 kWh/m².année aura besoin de 3 500 kWh pendant la saison où l'on chauffe. Cela représente une puissance nominale de 3 kW environ pour un climat français moyen, et jusqu'à 6 kW pour des climats plus froids, alors que les petits poêles à granulés ont une puissance typique de 7 kW, et les systèmes de chauffage classiques ont rarement une puissance inférieure à 15 kW.

Pour les maisons individuelles, la question subsiste. Etudions, pour fixer une référence, les cinq solutions techniques classiques proposées dans le processus de labellisation Minergie®. L'électricité mentionnée pour les systèmes à bois représente moins de 5 % de l'énergie totale mise en œuvre.

Les essentiels

fr.leonardo-energy.org

Solution technique	Energie entrante	Energie primaire	Coefficient global de performance
Pompe à chaleur géothermique	Electricité	Carbone, nucléaire, renouvelable	82-230 % Très efficace, nécessite une demande énergétique suffisante pour un retour sur investissement
Bois + Solaire (eau chaude)	Biomasse (+ électricité)	Biomasse	70-90 % Permet de ne plus prendre l'énergie sur le réseau, mais fortement dépendant du cycle de vie de la source d'énergie
Système automatique à bois	Biomasse (+ électricité)	Biomasse	70-90 % Fortement dépendant du cycle de vie de la source d'énergie
Récupération de chaleur industrielle	Indéterminé	Indéterminé	85 à 95 % au point d'utilisation Chauffage régional, devenant peu économique pour les maisons basse énergie dès que les coûts de distribution et de raccordement deviennent élevés.
Electrique + solaire	Electricité	Carbone, nucléaire, renouvelable	30 à 92 % 100% pour le solaire, selon la convention IEA

Tableau 5 : comparaison entre les différentes solutions de chauffage

Les systèmes à base de biomasse peuvent être de très bonnes solutions, en fonction du cycle de vie et en prenant en compte le transport depuis la source. Les systèmes à récupération de chaleur (qui utilisent les réseaux de distribution de chaleur) peuvent être avantageux, mais ils réclament une haute densité de chaleur pour être économiquement rentables, et ils s'avèrent moins intéressants dans les zones à haute densité de maisons basse énergie. Si l'on considère que les maisons basse énergie permettent une réduction de 90 % de la demande de chaleur, la combinaison entre la génération de chaleur résiduelle et le solaire-électrique devient attractive et peut être opérationnelle en autorisant une production plus importante de la production locale d'électricité.

Les performances des pompes à chaleur sont fortement dépendantes de la géologie locale. Certaines structures (argile, sable, etc.) ne conviennent pas pour l'utilisation de ces systèmes. La compatibilité entre le site et la solution technique doit être soigneusement étudiée, et risque, dans le cas de pompes à chaleur, de conduire à des situations peu rentables économiquement. Cela peut amener à choisir des systèmes plus souples à base de bois.

Le problème est plus facile à résoudre pour les résidences à usage collectif, où tous les petits besoins résiduels peuvent être cumulés, et où un réseau de distribution de chaleur peut être construit. Le taux d'occupation ainsi que la distance entre les maisons doivent être soigneusement étudiés car ces aspects sont plus facilement optimisés dans des résidences à usage collectif compactes.

D'un autre côté, un système de chauffage plus conventionnel (mais de taille réduite) peut être conçu pour les résidences à usage collectif compactes. Les supports énergétiques peuvent ici être combinés (comme par exemple le solaire et le bois), d'une manière qu'il est difficile d'utiliser dans le cas de maisons individuelles car la demande est trop faible. Les chaudières ayant une portée fonctionnelle optimale limitée, les systèmes de chauffage collectifs doivent être conçus avec soin.

3.1.3 Comportement

La façon dont les occupants utilisent leur résidence peut fortement influencer l'équilibre thermique, et par conséquent la consommation d'énergie. On peut classer ces influences en deux catégories.

Comportement pur

Fanger (1970, Thermal comfort, Copenhagen) a défini les conditions de confort pour un individu et a montré que le confort ne dépend directement que de seulement six paramètres : la température ambiante, la quantité restituée de chaleur, l'humidité, la vitesse de l'air, le niveau d'isolation des vêtements et le niveau d'activité. Il est très étonnant de constater la similarité entre les recherches sur les maisons basse énergie et sur le confort thermique humain.

Cela montre clairement le rapport très étroit entre les habitants et l'ambiance intérieure : le maintien de l'équilibre, lorsque l'un de ces paramètres évolue, peut être réalisé en modifiant l'autre. A titre d'exemple, la diminution de un degré de la température ambiante dans une maison (une économie de 5 à 10 %) peut être compensée par :

- l'installation d'un équipement de chauffage rayonnant
- la modification de la quantité restituée de chaleur par les murs – par exemple, en choisissant un matériau peu émissif comme le bois (une pratique très usuelle en Europe du nord)
- le fait de plus se couvrir (aucun coût, en dehors de l'achat de vêtements supplémentaires)

Les essentiels

fr.leonardo-energy.org

Sources de chaleur parasites

De nos jours, un bon nombre de nos activités à l'intérieur d'un bâtiment entraîne l'utilisation de réfrigérateurs, de cuisinières, d'éclairage, d'ordinateurs, etc. Ces appareils sont générateurs d'une certaine quantité de chaleur. La quantité totale de chaleur générée aujourd'hui dans une maison est loin d'être négligeable. Il est intéressant de comparer les valeurs typiques listées ci-dessous au 1,5 kWh moyen par jour nécessaire pour chauffer une pièce de 10 m² en hiver dans une maison Minergie®.

Exemple d'équipement utilisé	Chaleur produite en un jour	Surface chauffée équivalente
Télé en mode veille (15 W) pendant 20 heures	0,30 kWh	2 m ²
Télé allumée pendant 4 heures	0,30 kWh	2 m ²
20 minutes de repassage	0,30 kWh	2 m ²
30 minutes de cuisson au four	1,5 kWh	10 m ²
Réfrigérateur (compresseur + détente de chaleur dans le condenseur)	3,0 kWh	20 m ²
PC et écran cathodique pendant 24 heures (utilisation de l'ADSL – 250 W)	6,0 kWh	40 m ²
PC et écran cathodique pendant 8 heures (utilisation dans un bureau – 250 W)	1,75 kWh	12 m ²
PC et écran plat pendant 8 heures (utilisation dans un bureau – 125 W)	1,0 kWh	7 m ²
Portable pendant 8 heures (utilisation dans un bureau – 30 W)	0,24 kWh	2 m ²

Tableau 6 : exemples de production de chaleur pour des appareils ménagers typiques -

Source Fraîcheur sans clim'- éd. Terre Vivante et AERE

Si l'on tient compte de ces valeurs, il est clair que l'on ne peut ignorer ces apports de chaleur parasites à l'énergie entrante et qu'il faut les intégrer lorsque l'on calcule la demande en chaleur. Dans les bâtiments administratifs, les apports de chaleur parasites sont importants du fait de la chaleur produite par les ordinateurs. Ils peuvent même aller jusqu'à nécessiter la mise en œuvre de climatisation. Dans le processus de normalisation Minergie-P®, le choix d'appareils électriques efficaces (catégories A, A+, ou A++) est inhérent au processus de conception basse énergie.

3.2 Le refroidissement

Le fait que les bâtiments basse énergie sont conçus pour laisser pénétrer beaucoup d'énergie solaire et l'empêcher de sortir peut être source de surchauffe en journées ensoleillées. Il est donc nécessaire d'étudier soigneusement le comportement des occupants à l'intérieur du bâtiment en été et de mettre en œuvre des dispositifs de refroidissement.

3.2.1 Systèmes passifs

Considérations générales

L'approche bioclimatique, qui nous a déjà été très utile quant à l'utilisation de l'énergie pour le chauffage peut également nous aider pour conserver le froid à moindre coût énergétique. A nouveau, il s'agit d'une méthode en deux étapes :

1. empêcher la chaleur de rentrer
2. permettre à la chaleur piégée de s'échapper

En Europe, les périodes plus chaudes correspondent à des moments où le soleil est haut dans le ciel. C'est pourquoi l'utilisation de protections correctement dimensionnées au dessus des fenêtres orientées sud est tout à fait adaptée pour limiter la chaleur en excès.

Il est également important de réduire le nombre ou la surface des murs orientés ouest et est (d'où la limitation dans les lignes directrices de Minergie®). Lorsque les fenêtres restent exposées, l'utilisation de stores extérieurs, ou encore d'arbres placés stratégiquement va offrir une ombre efficace en été, tout en laissant pénétrer la lumière en hiver.

L'inertie thermique

L'inertie est une propriété qui a déjà été mentionnée à propos du chauffage. C'est cependant une propriété très importante pour le confort en été. En fait, c'est le facteur prépondérant pour déterminer le temps qui mettra à se réchauffer. Une inertie suffisante est donc une garantie de maintenir un intérieur frais.

Pour les premières maisons passives, on s'est fortement focalisé sur l'isolation, en négligeant l'impact des matériaux isolants lors des surchauffes estivales. Ce défaut de conception a généralement aujourd'hui été corrigé, mais il reste un élément important à considérer. Nous proposons, ci-après, un tableau des épaisseurs nécessaires pour isoler correctement une maison en hiver (conditionné par l'isolation) et en été (conditionné par l'inertie).

Les essentiels

fr.leonardo-energy.org

Matériaux	Conductivité (W/m.K)	Capacité calorifique (Wh/m ³ . K)	Hiver Epaisseur (cm)	Eté Epaisseur (cm)
Laine minérale	0,04	4	0,173	0,815
Polystyrène	0,04	8	0,173	0,593
Cellulose haute densité	0,045	42	0,195	0,271
Laine de mouton	0,04	10	0,173	0,535
Panneau de fibre de bois	0,04	80	0,173	0,185

Tableau 7 : Comparaison des épaisseurs en été et en hiver de différents matériaux –

*Source : Dr. Ing. Reinhard Geisler, Isolfoc
(in La conception bioclimatique, éd. Terre Vivante)*

L'influence de la capacité thermique des matériaux (cela peut être généralisé à tous les matériaux intervenant dans la construction) est évidente. Des matériaux tels que la laine minérale ou les panneaux de fibre de bois, qui ont le même effet en hiver (isolation) ont un comportement très différent en été (inertie), avec 4,4 fois plus de laine minérale que de fibre de bois pour obtenir le même confort thermique en été.

L'utilisation de la ventilation de nuit, déjà mentionnée dans le chapitre comportement, a une conséquence directe sur la conception de la maison : il faut pouvoir ouvrir toutes les fenêtres de chacune des pièces pour permettre un refroidissement suffisant, Ce qui est une autre exigence du processus de labellisation Minergie®.

Environnement alentour

La zone aux alentours d'un bâtiment a une influence de deux façons significatives :

1. L'albédo, qui est la capacité d'une surface à réfléchir plus ou moins l'énergie en provenance du soleil
2. La variation de température, associée à la présence d'herbe ou de plantes, ce qui retient ou libère l'eau et la vapeur d'eau.

Du fait que les surfaces aux alentours de la structure interagissent avec le bâtiment et influencent l'apport d'énergie, celle-ci doit être soigneusement conçue, en fonction de l'orientation et de la conception du bâtiment lui-même pour aider à réguler l'apport énergétique.

Type de sol	Température de surface en été	Albédo (réflexion)
Asphalte	35°C	7 %
Asphalte blanc	25°C	90 %
Sol nu	25°C	-
Herbe tondue	23°C	20 %
Herbe fraîche	21°C	-

Tableau 8 : exemples des propriétés de la surface des sols -
Source Fraîcheur sans clim' , éd. Terre Vivante

3.2.2 Systèmes actifs

Le premier et le plus simple système de refroidissement est l'échangeur de chaleur terre-air (« puit canadien »). En faisant passer l'air dans le sol avant qu'il n'atteigne la maison, sa température chute de plusieurs degrés, rafraîchissant la température intérieure. Des chutes de température typiques de 3 à 5°C ont été mesurées.

Une variante de ce système a été utilisée depuis des siècles en Afrique du Nord et au Moyen-Orient (le badgir iranien, par exemple), où des amphores pleines sont suspendues dans le flux d'air, l'évaporation provoquant un effet de refroidissement supplémentaire. L'usage de l'évaporation - dans les fontaines intérieures, par exemple – peut encore être un moyen moderne et efficace de refroidissement.

Une solution plus classique, mais qui consomme plus d'énergie, est la pompe à chaleur air-air. L'équipement utilise l'électricité pour la circulation du fluide calorporteur et le transport de la chaleur de l'intérieur vers l'extérieur. Il convient de remarquer qu'un tel équipement ne peut être considéré comme un système de chauffage du fait de son très faible rendement énergétique, particulièrement pour des températures inférieures à 7 °C (Source : Etude chauffage électrique et pompe chaleur en France - Greenpeace France).

En dépit d'un ratio de performance reconnu d'environ 2, il faut se souvenir que les appareils A/C fonctionnent avec de l'électricité. Pour effectuer une comparaison précise de l'efficacité énergétique de ce type de système, il convient de revenir à la source d'énergie primaire.

Origine de l'électricité	Centrale à gaz cyclé combiné	Centrale au gaz ou au charbon	Electricité nucléaire	Electricité renouvelable
Rapport Energie de chauffage ou de refroidissement/Energie primaire pour une maison basse énergie	1,20	0,60 – 0,80	0,72	2,00

Tableau 9 : rapport Energie de chauffage ou de refroidissement/Energie primaire d'un système de refroidissement air-air, en fonction de la source de production d'énergie, dans le cas des maisons basse énergie

Les essentiels

fr.leonardo-energy.org

Un autre aspect à étudier, avec la ratification du protocole de Kyoto par l'Europe, est la quantité de CO₂ émis par la source d'énergie.

Charbon	Fuel	Gaz cyclé combiné	Cogénération	Energie nucléaire, hydraulique ou vent
915	676	404	230-380	0

Tableau 10 : émissions de CO₂ pour la production d'énergie, en g CO₂/ kWh

Source: Eléments de calcul des émissions de gaz à effet de serre dans les installations énergétiques, J.P. Tabet, C.Cros, 2000

Finalement, une partie significative de l'énergie produite dans certains pays est issue de réacteurs nucléaires. Cela conduit à une production de déchets nucléaires de 8,64 mg/ kWh (perte radioactive avec un temps de demi-vie court) et 0,85 mg/kWh (perte radioactive avec un temps de demi-vie long) (source: EDF).

3.2.3 Comportement

Des considérations identiques à celles citées au sujet du confort et du chauffage peuvent également être appliquées pour le refroidissement. Par exemple, réduire la température de 27 à 25°C avec système A/C augmente la consommation d'énergie de 10 à 20 %, alors que le même résultat peut être obtenu, en terme de confort physiologique, en ôtant des vêtements (aucun coût), ou en augmentant la circulation d'air (ventilateur peu cher, utilisant très peu d'énergie).

Au Japon, au cours de l'été 2005, la campagne CoolBiZ a proposé de mettre en route l'air conditionné à ou au-dessus de 28°C (au lieu des 22°C habituels) et a invité les gens à aller travailler sans costume ni cravate. Les résultats en 2005 ont conduit à une modeste économie de 70 GWh, dans une société où il existe une forte résistance culturelle à changer d'habitude vestimentaire. La campagne a été reproduite en 2006, associée à une campagne WarmBiz d'hiver, fixant la limite pour le chauffage à 20°C. Il est également important, dans le cas d'une période chaude d'été, que les occupants de la maison pensent à rafraîchir le bâtiment pendant une période fraîche (la nuit par exemple) et à protéger l'intérieur de la surchauffe excessive en utilisant des voilages et des stores. Nous voyons ici encore le lien direct entre l'utilisation de l'énergie et le comportement.

3.3 Appareils électriques

3.3.1 Technologies

La plupart des labels insistent sur le choix initial d'équipements de classe A (ou A+ ou A++), en référence à la labellisation pour les réfrigérateurs, congélateurs, machines à laver, sècheurs, fours et chauffe-eau.

Les maisons à très basse énergie

Avec un prix européen moyen de environ 0,10 €/kWh, un congélateur représente un coût de 65 €/an, bien que certains modèles atteignant 200 € ne soient pas une exception. L'importance d'une bonne qualité et d'une grande efficacité génère clairement des économies potentielles pouvant atteindre et dépasser 40 %. Le même type de calcul peut être réalisé pour chaque appareil électrique et doit prendre en compte le fait que de nombreux appareils consomment de l'énergie lorsqu'ils sont en veille. Des valeurs voisines de 10 W sont courantes pour les téléviseurs ; bien qu'il n'y ait pas de réglementation pour les niveaux de consommation dans ce mode, le choix initial est de la plus haute importance.

3.3.2 Comportement

Même si le choix du type d'alimentation permet automatiquement de réduire la consommation énergétique des appareils électriques en fonctionnement, le comportement reste un paramètre prépondérant. Il existe de nombreux appareils du marché qui consomment plus d'énergie en veille qu'en fonctionnement, simplement parce que les utilisateurs les laissent en permanence dans ce mode.

Catégories	Consommation diverse en mode veille (kWh/an)	% de la consommation totale
Appareils produisant du froid	12	5
Cuisson	34	13
Audio, vidéo, communication	108	42
Eclairage	57	22

Tableau 11 : exemples de consommation en mode veille

Source: Miscellaneous Standby Power Consumption of household appliances, EU-DG XVII Brussels, Belgium

La dépense totale énergétique en Europe pour les équipements en veille a été estimée à 53 TWh/an. Cela représente la production de 8 grosses centrales de production. Le simple fait de débrancher ou d'éteindre les appareils, ce qui peut être facilité par une conception adaptée, permettrait d'économiser une grande partie de cette énergie.

Parmi les différents types d'usage spécifiques électriques, les appareils produisant du froid (réfrigérateurs, glacière, etc.) doivent être l'objet d'une attention particulière car ils représentent 30 à 40 % de la consommation électrique totale. Le fait de les installer dans une pièce fraîche peut permettre des économies significatives.

Les machines à laver et à sécher représentent plus de 20 % de la consommation domestique. Elles consomment de grosses quantités d'énergie, à savoir près de 1 000 kWh. Cette quantité peut ne jamais être amortie si l'appareil n'est utilisé que deux à trois fois par semaine, d'où l'intérêt de partager ce type d'équipements dans les habitations à usage collectif. Cette pratique est largement répandue aux Etats-Unis et en Suisse.

3.4 L'eau chaude

3.4.1 Technologies

Considérations générales

Les trois processus de labellisation que nous avons étudiés dans le premier chapitre de cet article ont une approche différente à propos des systèmes de chauffage de l'eau. Si PassivHaus ne préconise qu'une limite sur la quantité totale d'énergie primaire utilisée dans le bâtiment (max. 120 kWh/m²/an), les solutions, pour Minergie®, doivent faire appel à un système technique choisi dans la liste suivante : pompe à chaleur, chaudière à bois, ou système à énergie solaire accompagné de récupération de chaleur industrielle.

LEED n'impose aucune mesure obligatoire, mais attribue différents bonus pour des distributions efficaces (formes en boucles, isolation, etc.) et les installations de production (solaire, gaz ou électrique).

Une solution classique de chauffage de l'eau basse énergie est le chauffe-eau solaire, puisqu'il utilise une énergie gratuite et peut fournir jusqu'à 70 % du besoin. Malgré sa très basse consommation, il convient de concevoir et d'intégrer le système avec soin (notamment les pompes de circulation), afin de réduire la consommation énergétique totale au maximum. Les systèmes de chauffage solaire ont toujours besoin d'une source complémentaire d'énergie qui garantit le service mais par temps couvert.

- Électricité
- brûleur au fuel ou au gaz
- le bois peut être une bonne solution mais, les systèmes à bois de faible puissance (12 à 15 kW) que l'on peut adapter aux maisons individuelles basse énergie sont rares. Ils conviennent cependant bien aux résidences à usage collectif.

Solutions alternatives

Une nouvelle approche pour le chauffage de l'eau a été proposée et mise en œuvre ces dernières années. La méthode, appelée eau chaude, est basée sur l'implantation de très petits chauffe-eau électriques à proximité du point d'utilisation, à la place de l'utilisation d'une seule source importante. Il y a de nombreux avantages à cette solution :

- une réponse immédiate, qui conduit à une réduction de la consommation d'eau chaude de 10 à 40 %.

Les maisons à très basse énergie

fr.leonardo-energy.org

- des chauffe-eau plus petits, mieux isolés, et plus efficaces (puissance entre 3 et 20 W) permettant une économie de 10 à 20 % comparés à des chaudières électriques traditionnelles.

Ces avantages étant cumulables, cela conduit à une prétendue économie de 50 % d'eau et d'énergie. Le distributeur déclare que les économies d'eau et d'énergie sont telles qu'un chauffage solaire devient inutile.

L'énergie totale de production d'eau chaude peut être ainsi produite par une petite surface (de 2 à 5 m²) de panneaux photovoltaïques

Une autre solution qui a été utilisée dans les habitations à usage collectif et dans l'industrie de l'alimentation est la récupération de chaleur par drain. Un des distributeurs annonce une économie de 34 % sur la facture d'énergie et un retour sur investissement de 2 à 4 ans.

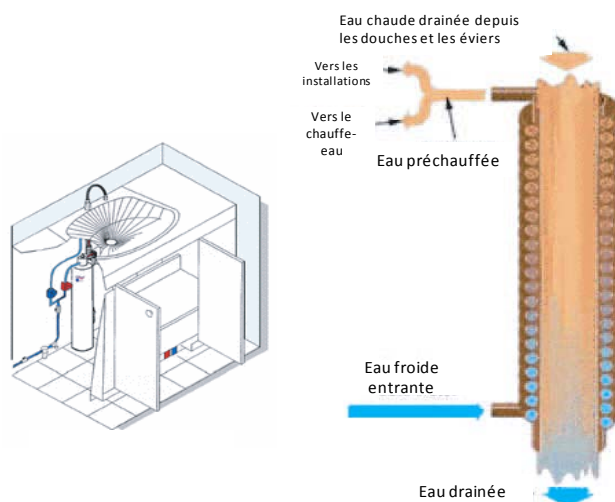


Figure 12 : principe système eau chaude

(Source : ets-concept.monsite.wanadoo.fr)

et principe du système GFXstar de récupération de chaleur par drain

(Source : www.gfxstar.com)

3.4.2 Comportement

Deux paramètres définissent la quantité d'énergie utilisée au chauffage de l'eau :

- la température à laquelle l'eau est chauffée. La capacité calorifique de l'eau vaut 4,18 kJ/kg.K, ce qui correspond à utiliser 1,16 Wh pour élever de 1°C un litre d'eau

Les essentiels

fr.leonardo-energy.org

- la quantité de chaleur qui est chauffée

Le premier paramètre est aisément modifiable en réglant correctement la température sur le système de chauffage d'eau. Il est encore très courant de trouver des systèmes de chauffage d'eau réglés à 80°C, ce qui correspond à un niveau de dépense énergétique inutile. Cela accélère également la calcination, génératrice de pertes énergétiques supplémentaires, ainsi que de coûts de maintenance additionnels pour le détartrage.

Toutefois, une température inférieure à 55°C augmente les risques de légionellose. Un réglage aux environs de 60°C constitue un choix optimal pour les résidences.

Le second paramètre est également directement lié au comportement, la question étant : « de combien d'eau ai-je besoin pour un service donné ? » (et tout aussi important : « quelle partie de ce service vais-je utiliser ? »). Un exemple typique est la comparaison entre le fait de prendre une douche (20 à 60 litres d'eau dans la pire des situations) ou de prendre un bain (min. 100 litres). Les bains représentent 39 % de notre consommation et le fait de se laver plus de 25 %.

Il faut également noter que les européens consomment huit fois plus d'eau que leur grands-parents le faisaient il y a seulement 50 ans et que plusieurs pays en Europe n'ont pas la disponibilité nécessaire en eau douce comme le montre la carte ci-dessous.

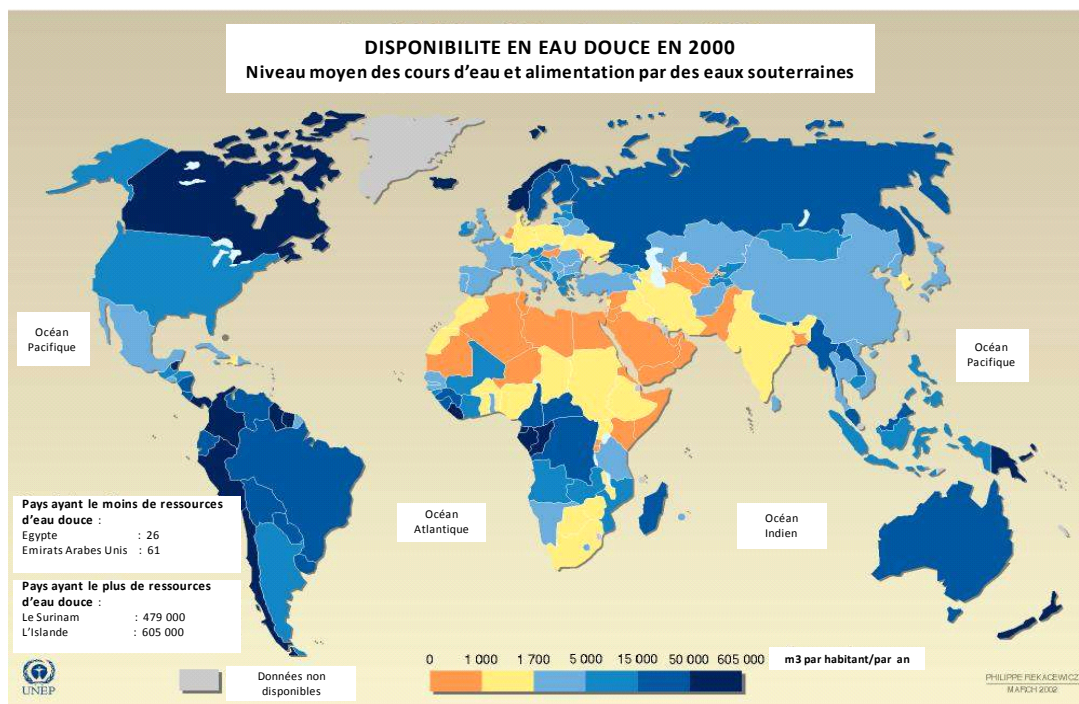


Figure 13 : disponibilité en eau douce en 2000.

Source : World Resource Institute

3.5 Cuisson

L'acte de cuisson utilise de l'énergie sous forme de chaleur. Malgré des tentatives en Europe, le chemin vers un système de cuisson efficace est encore long. Cependant, il est important de constater que sur le cycle complet de « l'acte de nutrition », la plus grande partie de l'énergie est consommée par les réfrigérateurs et les congélateurs, rendant le choix d'appareils A,A+,A++ particulièrement important.

3.5.1 Equipement de cuisson traditionnel amélioré

La méthode de cuisson traditionnelle, avec un récipient sur une source de chaleur (flamme ou électrique), et sans que les surfaces du récipient ne soient isolées, est très inefficace (rendement maximal de 35 %) et conduit à des pertes de chaleur significatives.

Une tentative intéressante d'amélioration est le récipient dit norvégien. Ce produit n'est rien d'autre qu'une boîte isolée dans laquelle on vient placer le récipient de cuisson chaud avant la fin du temps normal de cuisson. Ainsi, par conservation de la chaleur, la cuisson continue sans autre apport de chaleur, avec une économie de 20 à 50 %.

Est-il possible de généraliser ce principe à tous les modes de cuisson ? Cette question reste ouverte actuellement car il n'y a aucune production de masse de tels produits.

3.5.2 Cuisson par énergie alternative

Alors que les méthodes de cuisson n'ont connu que peu de progrès, quelques tentatives intéressantes quant à la source d'énergie ont vu le jour récemment. La cuisson solaire a connu quelques développements dans les pays du sud (Afrique, Amérique du Sud), avec un grand succès, particulièrement pour les méthodes de cuisson longues (vapeur, ragoûts, etc.). Son utilisation dans les pays du nord est encore rare, bien qu'environ 1 000 fours solaires soient actuellement opérationnels en Suisse.

En Afrique et en Asie, la production de biogaz à partir de déchets humains et animaux est tout à fait habituelle, et le gaz (méthane) est alors utilisé pour la cuisson. Cette méthode a été installée à titre expérimental à Fribourg, en Allemagne, à des fins de recherche et on peut lire dans le document « Leben und arbeiten » que « notre installation pour la recherche est trop chère pour être reproduite dans d'autres situations ». D'un autre côté, le Kigali Institute for Science, Technology and Management a équipé six prisons pour chacune 5 000 personnes de production de méthane à partir d'excréments humains. Le gaz est ainsi utilisé dans les cuisines des prisons, avec une réduction de 50 % de la consommation de fuel.



Figure 14 : usine de production de Biogaz en construction à Kigali, Rwanda - information détaillée sur www.ashdenawards.org/winners/kist05

3.5.3 Comportement

De la même façon que pour le chauffage et le refroidissement, la cuisson est un acte où les habitants interagissent fortement avec leur maison. Sans même parler des technologies ou des équipements, la cuisson en elle-même a une très haute influence sur la demande en énergie. Le comportement est, en fait, le facteur le plus important quant à la demande en énergie pour la cuisson.

L'utilisation d'un couvercle, par exemple, pendant la cuisson, réduit d'un facteur 3,8 la demande en énergie pour maintenir de l'eau en ébullition (calcul pour 1,5 litre, 190 W au lieu de 720 W – Source : Novembre 2006 INFEL, ENERCO (Alain Gaumann)) ! Eteindre la source de chaleur, à un certain moment, avant la fin de la cuisson permet d'économiser une quantité substantielle d'énergie. Cuisiner ou cuire plusieurs plats pendant que l'équipement est encore chaud économise également de l'énergie. La cuisson à la vapeur est une méthode efficace. Certains fabricants de fours proposent aujourd'hui des fours à vapeur. Et bien sur, la nourriture crue ne nécessite pas d'énergie de cuisson et conserve la pleine valeur nutritionnelle des aliments.

4. Avantages des constructions basse énergie

4.1 Financier

On fait souvent remarquer que la construction de bâtiments basse énergie revient plus chère que les techniques de constructions traditionnelles et peuvent, de ce fait ne pas être avantageuses financièrement. Toutefois, la façon dont les projets de construction

sont réalisés varie de manière significative, notamment en termes de travaux réalisés en autonomie. On remarquera que la compagnie Scandinavian Homes propose une maison passive standardisée. La première maison, construite en Irlande entre le 9 et 17 mars possède une surface de 230 m² pour un prix de 1 130 €/m².

Il convient également de noter qu'un label tel que Minergie® limite les surcoûts (10 % pour Minergie® S, 15 % pour Minergie® P), du fait des techniques spéciales de constructions utilisées. L'étude française « Construction durable » (disponible sur www.constructiondurable.com) a également démontré que plus le paramètre énergétique est introduit tôt dans le projet, plus le coût est limité. L'association HQE, en France, signale un coût additionnel de seulement 5 % si les paramètres « Environnement Haute Qualité » sont pris en compte suffisamment tôt.

Cela vaut la peine de mentionner à nouveau que, comme cela est expliqué dans « The costs and benefits of green buildings – un rapport du groupe de travail de la construction durable de Californie », le retour sur les investissements initiaux est relativement rapide.

Les économies sur le total des charges annuelles atteignent généralement 3 €/m²/an, avec une augmentation d'environ 8 €/m² de la valeur du bâtiment. Le principal problème réside dans le fait que l'investisseur n'est souvent pas la même personne ou la même organisation que l'utilisateur.

4.2 Social

La même étude "Costs and benefits of green buildings" analyse les bénéfices financiers des constructions durables au cours de leur durée de vie. Ceux-ci se répartissent comme suit : 11 % pour les économies d'énergie, 16 % pour les réductions de charges et 70 % pour les gains par augmentation de productivité et réduction des coûts de santé.

En même temps que cela montre clairement l'importance des économies d'énergie, avec une économie totale pouvant atteindre 70 %, il y a également de gros avantages auxiliaires. En fait, les bâtiments basse énergie sont habituellement conçus avec l'idée d'une procédure de qualité globale, de façon telle que les économies d'énergie réalisées entraînent avec elles de nombreux autres avantages. Il convient également de noter que dans le cas des habitations à usage collectif, la réduction des charges varie de 1, à 3,4 €/m²/an. Ceci est très important pour les populations à faible revenu qui bénéficient de logements de bonne qualité à bas coût avec des charges réduites sur l'utilisation de l'énergie.

4.3 Politique

Certaines villes et régions, comme Fribourg en Breisgau, en Allemagne, ont mis en place une approche globale environnementale, la construction basse énergie étant une des composantes de ce puzzle, associée à des éléments d'organisation urbaine, de transports, de gestion des déchets, etc. L'idée présente derrière cette approche est que

les habitations ne sont qu'une partie d'une globalité énergétique entraînant des pertes massives.

Le fait que les institutions politiques ont pris la responsabilité d'entreprendre de tels programmes basse énergie limitent les inconvénients comme les doutes ou la faible efficacité financière des premières expériences. Le succès de ces programmes, qui atteignent aujourd'hui une bonne performance financière, a fortement contribué à l'image de ces villes et de ces pays, tout en aidant simultanément le développement de compagnies innovantes locales (comme la maintenant très réputée Solar Fabrik à Fribourg).

5. Conclusion

Depuis la conférence de Rio en 1992 et le protocole de Kyoto en 1995, de nombreuses personnes ont pris conscience du problème du réchauffement climatique. L'énergie est responsable de 85 % de toutes les émissions de gaz à effet de serre. Des efforts ont été réalisés mais deux catégories d'émissions continuent d'augmenter : les transports et les bâtiments. La situation énergétique actuelle (entre 2000 et 2006, le prix du pétrole a doublé, celui du gaz naturel pour les particuliers a augmenté de 34 %) renforce la situation de la construction basse énergie.

Nous avons également vu que, bien que les technologies et la conception jouent un rôle important, le comportement individuel a également un gros impact à deux niveaux. Le premier est le choix des technologies, qui reste toujours le résultat d'un choix de l'homme. Le second est la façon dont les technologies sont utilisées, dans la vie quotidienne. Il est donc extrêmement important, comme indiqué dans la procédure LEED, de se concentrer sur la formation des habitants dans le domaine des maisons basse énergie. Une habitation basse énergie dont les habitants sont bien informés peut réduire radicalement ses dépenses énergétiques, un exemple typique étant une réduction de 7 à 14 % de la consommation de chauffage pour une diminution de 1°C du réglage.

La rénovation reste un sujet critique, du fait que l'Europe dispose d'un nombre très élevé de vieux bâtiments, absolument pas efficaces sur le plan énergétique. NegaWatt mentionne que, pour la France seulement, réduire la consommation d'énergie dans les immeubles construits avant 1975 (il y en a 17 millions) de 50 kWh/m²/an nécessiterait la rénovation de 450 000 d'entre eux (c'est également le nombre mis en vente annuellement) chaque année pendant 45 ans.

Il subsiste un point obscur : la capacité locale à construire de tels édifices basse énergie, ainsi que l'acceptation culturelle de l'industrie du bâtiment. Comme nous l'avons vu, les méthodes et les matériaux de constructions nécessitent des améliorations massives. Jusqu'à quel point les entreprises sont-elles prêtes à accepter ces changements dans leurs habitudes de travail aujourd'hui ? Comment les réglementations locales peuvent-elles être adaptées pour encourager de meilleures pratiques en terme énergétique, comme cela a été fait dans le domaine électrique par le passé ?

6. Références bibliographiques

- [1] Fanger (1970, Thermal comfort, Copenhagen)
- [2] Salomon - Aubert (Fracheur sans clim'- ed. Terre Vivante).
- [3] Miscellaneous Standby Power Consumption of household appliances, EU-DG XVII
Brussels, Belgique
- [4] www.constructiondurable.com
- [5] PassivHaus: www.passiv.de
- [6] Minergie: www.minergie.ch
- [7] LEED: www.usgbc.org/leed