

Eclairage scientifique

Cycles 1, 2, 3 et 4

Ecohabitat : matériaux, énergie, et eau

Résumé

Réduire l'impact de l'habitat sur l'environnement passe, par un choix judicieux des matériaux; un habitat économe en énergie; et une consommation raisonnée de l'eau.

Cet éclairage scientifique apporte de manière synthétique des clés de compréhension sur les solutions et leviers de l'écohabitat.

Éclairage scientifique

*On fait la science avec des faits, comme on fait une maison
avec des pierres : mais une accumulation de faits n'est pas plus
une science qu'un tas de pierres n'est une maison.*

Henri Poincaré

Le défi de la démographie

Si l'opinion publique est désormais largement consciente des difficultés posées par le réchauffement climatique (voir page 25), il n'en est pas toujours de même pour un autre défi majeur du XXI^e siècle : la démographie.

Chaque jour, la population mondiale s'accroît de plus de 200 000 personnes... et chaque année de 74 millions (soit davantage que toute la population française).

En 2050, la Terre comptera vraisemblablement plus de neuf milliards d'habitants. C'est en Afrique que cette progression devrait être la plus fulgurante (+ 150 %), et, d'une façon générale, dans les pays en développement.

L'augmentation de la population couplée au développement économique et à l'urbanisation croissante de ces régions laisse entrevoir une explosion des « classes moyennes » aspirant légitimement à nos modes de vie actuels. On imagine aisément les conséquences en termes d'accroissement des besoins alimentaires, de pression sur les ressources naturelles, en particulier l'eau (voir le chapitre dédié à l'eau, page 32), et d'augmentation de la consommation d'énergies fossiles.

Pour toutes ces raisons, il est aujourd'hui essentiel de revoir notre conception de l'habitat et de la ville, en visant la sobriété énergétique, la préservation des ressources en eau, la valorisation des déchets...

Matériaux et techniques de construction

Réduire l'impact de l'habitat sur l'environnement passe, comme nous allons le voir, par un choix judicieux des matériaux : tous ne se valent pas, bien au contraire !

Le béton a encore des progrès à faire !

Le béton est, de loin, le matériau de construction de plus utilisé en France¹. Son usage est assez récent puisqu'il s'est généralisé au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, lorsqu'il a fallu reconstruire plus de 500 000 logements rapidement et à moindre coût. Le faible coût de ses matières premières, sa fabrication industrielle et son utilisation ne nécessitant pas de main-d'œuvre qualifiée en ont fait un matériau de choix.

Il offre une bonne résistance mécanique et une grande souplesse d'utilisation : on peut le couler, le mouler à la forme que l'on veut, ou l'utiliser sous forme agglomérée (parpaings).

Cependant, ses performances environnementales sont mauvaises :

- La fabrication du ciment, ingrédient essentiel du béton, représente à elle seule près de 10 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre. Produire une tonne de ciment libère une tonne de CO₂ dans l'atmosphère. Par ailleurs, la fabrication du ciment est très gourmande en eau : il faut 35 tonnes d'eau pour une tonne de ciment !
- L'extraction du sable, autre élément essentiel du béton, pose de nombreux problèmes environnementaux : disparition des plages dans certains pays, défiguration des paysages, salinisation des nappes phréatiques. La France a de plus en plus de difficultés à s'approvisionner en sable. L'acheminement des matières premières sur de longues distances ne fait qu'alourdir le bilan énergétique du béton.
- Le béton est par ailleurs rarement recyclé.

1. En France, 70 % des habitations sont construites en béton.

- Le béton a de mauvaises performances thermiques, si bien qu'il est indispensable de lui ajouter d'autres matériaux isolants. Les plus utilisés (polystyrène et laines minérales) ont un impact environnemental très lourd (voir page 28).
- Outre sa mauvaise isolation thermique, le béton souffre d'une trop grande imperméabilité. La vapeur d'eau, au lieu de traverser la paroi, s'accumule et se condense, favorisant le développement de moisissures. Pour cela aussi, les maisons en béton sont très gourmandes en chauffage.

Etant donné l'énormité de la consommation mondiale de béton² et les perspectives de croissance encore plus grandes (car un Chinois ne consomme aujourd'hui que le tiers de ce que consomme un Européen), la lutte contre les changements climatiques passe impérativement par la recherche de solutions alternatives : réduire le coût carbone du ciment, utiliser des granulats recyclés... ou utiliser d'autres matériaux plus performants. Dans les pays occidentaux, les maisons en bois ou en terre crue font ainsi leur réapparition depuis une vingtaine d'années, après un siècle d'absence.

Construire en terre

La terre crue est l'un des matériaux les plus utilisés dans la construction, et ceci depuis 10 000 ans. Qu'il s'agisse d'édifices monumentaux (Alhambra, Grande Muraille de Chine...), de lieux de culte, d'habitat individuel ou collectif, les constructions en terre crue ont été et sont présentes sur tous les continents. Encore aujourd'hui, plus du tiers de la population mondiale vit dans un habitat en terre crue.

La terre, un béton naturel

« Béton » est un terme générique qui désigne un matériau constitué de grains (sable, cailloux...) et d'un liant (ciment, argile, eau...) qui maintient la cohésion de l'ensemble. La terre, mélange de cailloux, graviers, sable, silts (ou limon) et d'argile, est en quelque sorte un béton naturel, dont l'argile constitue le « ciment ».

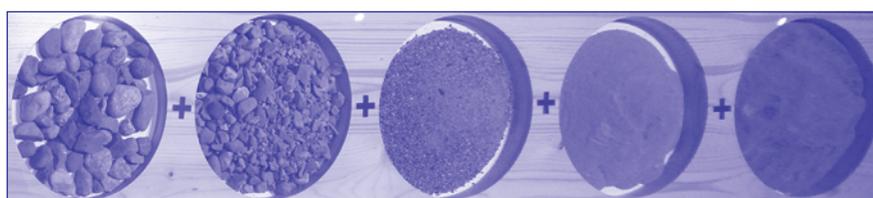
C'est un matériau très compact, car les petits grains remplissent les espaces laissés entre les plus gros. La cohésion est assurée non seulement par les forces de contact et de frottement entre les grains,

mais aussi par le biais de forces capillaires : l'eau crée des « ponts » entre les grains et joue le rôle d'une colle. Ces forces sont particulièrement efficaces à petite échelle, c'est pourquoi l'argile,

constituée de grains minuscules, joue un rôle si important. Par ailleurs, les grains d'argile sont chargés électriquement, ce qui augmente encore leur pouvoir collant puisqu'aux forces de frottement et aux forces capillaires s'ajoutent des forces électrostatiques.



La terre est composée de grains de tailles différentes.



De gauche à droite : cailloux (diamètre de 20 à 200 mm), graviers (de 2 à 20 mm), sable (de 0,006 à 2 mm), silts (de 0,002 à 0,006 mm), argile (taille inférieure à 0,002 mm)

2. On fabrique un mètre cube de béton par an et par habitant.

Des techniques variées

Il existe de nombreuses techniques d'utilisation de la terre crue. Les principales sont :

L'adobe : terre moulée

Façonnées depuis 10 000 ans, les briques de terre crue ne nécessitent qu'un moule rectangulaire en bois et une terre non caillouteuse pouvant être travaillée à la main. Après quelques jours de séchage, les briques sont prêtes à être assemblées à l'aide d'une terre argileuse, qui sert alors de mortier. Cette technique, très rapide et bon marché, autorise toutes les formes architecturales : murs, colonnes, voûtes, coupoles...



Shibam est une ville du Yémen, inscrite au patrimoine mondial de l'UNESCO, dont les immeubles sont entièrement construits en briques de terre crue. Les immeubles les plus anciens datent du xvr siècle.

Auberge dans le centre médiéval de Vitré, Ille-et-Vilaine (France)

Le torchis : terre modelée

Très fréquente dans le nord et l'ouest de la France, la construction en torchis consiste à garnir une structure porteuse (en bois) avec un mélange de terre argileuse et de paille.



Le pisé : terre compactée

Une terre caillouteuse est étalée en fines couches dans un coffrage, chaque couche étant



Maison dans les Pyrénées-Atlantique (France)

compactée à l'aide d'une masse (le psoir) ou d'un fouloir pneumatique. Cette technique ne nécessite aucun temps de séchage : dès le compactage terminé, on peut retirer le coffrage. Le mur est prêt !

Le résultat esthétique, caractéristique avec ses stries horizontales, est fort apprécié des architectes pour les constructions contemporaines.

Quelques raisons de préférer la terre au béton

La terre est un matériau disponible quasiment partout, qui n'a pas besoin d'être fabriqué, ni transformé, ni transporté, et qui est à 100 % recyclable (la terre retourne à la terre). L'impact de ce matériau sur l'environnement est donc très faible.

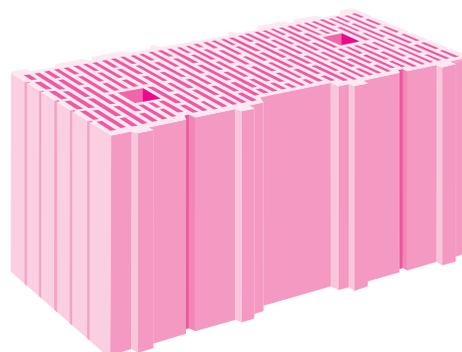
Côté confort, les constructions en terre crue (pisé en particulier) possèdent une très forte inertie thermique, permettant d'amortir les fluctuations extrêmes de température, et sont donc particulièrement bien adaptées aux climats chauds.

La très bonne perméabilité de la terre à la vapeur d'eau en fait un matériau respirant, évitant les phénomènes de condensation. Pour une meilleure isolation thermique, et donc une utilisation en climat froid, la terre crue nécessite d'être associée à un matériau isolant, comme la paille, par exemple. Les performances thermiques de telles habitations sont alors excellentes.

Et la terre cuite ?

Aujourd'hui, on fabrique des briques très performantes dont la structure alvéolée permet une excellente isolation thermique.

Tout comme la terre crue, la terre cuite possède une bonne inertie thermique et une bonne perméabilité à la vapeur d'eau. Seul défaut : la cuisson des briques consomme de l'énergie. Ce coût carbone est néanmoins beaucoup plus faible que celui de la cuisson du ciment !



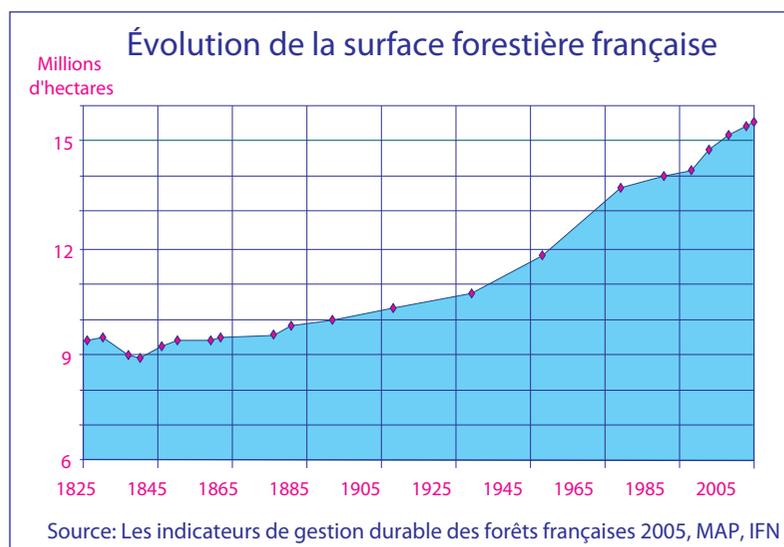
Construire en bois

Des qualités environnementales indéniables

Largement majoritaire aux États-Unis et dans les pays scandinaves, où 90 % des maisons sont construites en bois, la filière bois est encore très peu développée en France (5 % seulement des habitations). Cependant, ce secteur affiche une très forte croissance, en raison des qualités de ce matériau :

- Son utilisation contribue à limiter nos émissions de gaz à effet de serre. En effet, un arbre transforme le CO₂ en matière organique au cours de sa croissance. Une fois mort, il se décompose sous l'effet des micro-organismes du sol et libère à nouveau des gaz à effet de serre dans l'atmosphère (CO₂, mais aussi méthane). Utiliser le bois pour la construction, plutôt que le laisser se décomposer, permet donc de « fixer » le carbone. Attention toutefois à ne pas anéantir cette économie de CO₂ en achetant du bois en provenance de forêts lointaines !
- C'est un matériau renouvelable, à condition de provenir de forêts convenablement gérées. C'est le cas de la France, qui voit sa surface boisée augmenter d'année en année, comme le montre le graphique ci-dessous.
- Le bois est également un matériau recyclable : lors de la démolition d'un bâtiment, les pièces de bois sont généralement récupérées pour une autre construction, car le bois ne perd pas ses propriétés structurelles avec le temps. Ce constat mérite d'être nuancé car l'utilisation de peintures, vernis et solvants peut rendre son recyclage difficile, voire impossible. Il y a donc un usage écologique du bois (forêts proches, bien gérées, essences choisies pour leur résistance et leur adaptation au climat)... et un usage peu écologique (forêts lointaines, non replantées, essences mal adaptées nécessitant des revêtements protecteurs, en général polluants).
- Contrairement aux idées reçues, les constructions en bois ont une bonne tenue au feu ! Un incendie domestique se propage par des matières comme les rideaux, les matelas... et jamais par la structure du bâtiment, fût-il en bois. Par ailleurs, le bois se consume lentement et garde ses propriétés mécaniques et structurelles plus longtemps que d'autres matériaux comme l'acier. Les habitants d'une maison en feu ont alors plus de temps pour sortir avant que celle-ci ne s'écroule.

La construction en bois massif (rondins, madriers ou « parpaings de bois ») est onéreuse et plutôt adaptée à quelques régions qui ont développé un savoir-faire local, comme les Alpes. On lui préfère dans 80 % des cas la technique dite de « l'ossature bois ». Ce système, hérité des maisons à colombages, consiste à réaliser un squelette porteur en bois de faible section, formant un quadrillage. Les « cases » ainsi formées sont ensuite remplies d'un matériau isolant (par exemple, de la paille ou du chanvre) et reçoivent une finition (enduit ou parement).



Cette solution offre une grande liberté de formes et les éléments peuvent facilement être préfabriqués en usine, réduisant ainsi les coûts et les délais de construction. Elle permet d'obtenir à la fois une très bonne isolation thermique et une bonne régulation de l'humidité. Selon les climats et l'orientation des façades, on utilise un matériau de remplissage qui répond aux besoins d'isolation (vis-à-vis du froid) et d'inertie (vis-à-vis du chaud). Pour l'inertie, on retrouve alors la possibilité de remplissages en terre-paille ou en béton de chanvre.

L'énergie dans l'habitat

Énergie, chaleur... c'est quoi au juste ?

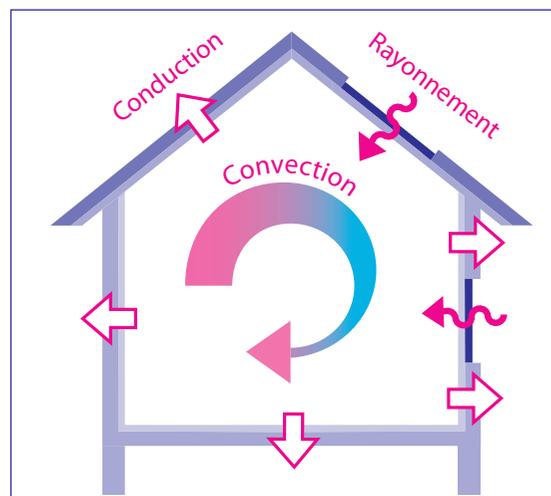
L'énergie, étymologiquement, est une « force en action » (*energeia* en grec ancien). C'est ce que l'on doit dépenser pour transformer quelque chose : le chauffer, le déplacer, le briser, le dissoudre, etc. L'énergie se mesure en joules (J). Un joule, c'est l'énergie qu'il faut pour soulever une pomme à un mètre de haut. C'est peu ! Notre corps, par exemple, consomme environ 10 millions de joules chaque jour, que nous tirons de l'alimentation, pour maintenir notre température à 37 °C, nous déplacer, digérer...

Cette unité étant très petite, on lui préfère souvent la suivante, plus commode pour notre utilisation quotidienne : le kilowattheure (kWh), qui correspond à 3 600 000 J. Ainsi, le corps humain consomme chaque jour près de 3 kWh. Pendant ce temps, une maison « classique » de 100 m² consomme à peu près le double.

L'énergie existe sous plusieurs formes : mécanique, électrique, nucléaire... La chaleur, ou énergie thermique, est donc une forme d'énergie parmi d'autres. Elle correspond à l'agitation désordonnée des atomes ou des molécules qui composent un corps : plus ce corps est chaud, plus ses atomes et molécules vibrent rapidement. La température est une mesure de cette agitation thermique.

La chaleur se propage de plusieurs manières :

- Par **rayonnement** : tous les corps émettent de la lumière (et ceci d'autant plus qu'ils sont chauds). Si cette lumière est absorbée par un autre corps, elle le chauffe. Ainsi, le Soleil chauffe la Terre à raison de 350 W/m^2 (soit, sur toute la surface terrestre, 18 millions de milliards de watts !). Dans l'habitat, cela se manifeste à travers les baies vitrées : suivant leur taille et leur orientation, le bâtiment profite plus ou moins efficacement de l'énergie solaire.
- Par **conduction** (ou par contact) : dans un solide, les atomes ou molécules se transmettent leur agitation de proche en proche. Ainsi, les zones chaudes cèdent de l'énergie aux zones plus froides et la température s'homogénéise. Ce mécanisme est très efficace dans les métaux... et beaucoup moins dans les matériaux organiques. On en fait l'expérience en laissant une cuillère dans une poêle chaude : avec une cuillère en métal, on se brûle... mais pas avec une cuillère en bois ! Le bois conduit mal la chaleur (l'extrémité chauffée dans la poêle n'a pas transmis sa chaleur à l'autre extrémité restée au-dehors)... on dit que c'est un bon **isolant**. Cette propriété est fondamentale dans l'habitat.
- Par **convection** : c'est un mécanisme similaire à la conduction (l'énergie se transfère par contact), mais qui intervient dans les milieux fluides. Par exemple, lorsque l'on chauffe de l'eau dans une casserole (donc, par le bas), cette eau chauffée devient moins dense, monte à la surface où elle cède de l'énergie à l'eau froide. Petit à petit, toute l'eau de la casserole est chauffée. La convection joue un rôle important dans le chauffage (les « convecteurs » ne s'appellent pas comme ça par hasard !) et dans la ventilation des bâtiments.



Consommation d'énergie et environnement

Les vingt dernières années constituent un tournant majeur dans la prise de conscience du danger écologique, sanitaire et social que représente le réchauffement climatique³. Il ne fait plus de doute aujourd'hui que ce réchauffement est principalement dû aux activités humaines, et en particulier à notre consommation d'énergies fossiles : pétrole, charbon, gaz...

La réduction des émissions de gaz à effet de serre est devenue une priorité. Le plan Climat mis en œuvre par la France doit permettre de les diviser par quatre à l'horizon 2050, et cela dans tous les secteurs : transport, bâtiment, industrie, énergie, agriculture...

Trois approches complémentaires sont nécessaires, aucune ne se suffisant à elle seule :

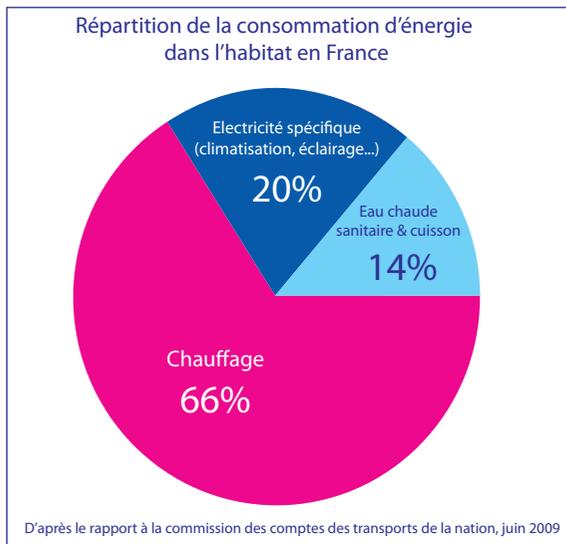
- diminuer les dépenses énergétiques en évitant le gaspillage ;
- promouvoir les équipements économes en énergie ;
- augmenter le recours aux énergies non carbonées.

L'habitat est au centre de ces préoccupations, car il est responsable d'un quart des émissions de gaz à effet de serre (le bâtiment est le premier consommateur d'énergie en France). Plus préoccupant, l'habitat est le seul secteur (avec les transports) où ces émissions ne font que croître depuis 20 ans, contrairement aux secteurs industriel et agricole par exemple.

3. Pour traiter cette question en classe, nous renvoyons au guide pédagogique « Le climat, ma planète...et moi ! » (éditions Le Pommier, 2008).

Pourquoi une telle augmentation, alors que la réglementation thermique est toujours plus exigeante ? Les raisons sont multiples : accroissement du parc immobilier (+ 300 000 logements neufs par an actuellement), généralisation de l'habitat individuel (25 % du parc en 1960... et plus de 60 % aujourd'hui !), augmentation de la taille des logements, augmentation de la température de confort (en moyenne, on chauffe les bâtiments de 2 °C de plus en hiver qu'il y a 20 ans), diffusion de nouveaux besoins à forte consommation d'électricité (électroménager, climatisation, audiovisuel...).

Vers un habitat économe en énergie



Le chauffage reste, et de loin, la principale source de consommation d'énergie des bâtiments. Or, l'énergie utilisée pour le chauffage est majoritairement d'origine fossile (fioul et gaz) : elle contribue donc largement aux émissions de gaz à effet de serre.

Orientation et forme du bâtiment : les bases de l'architecture bioclimatique

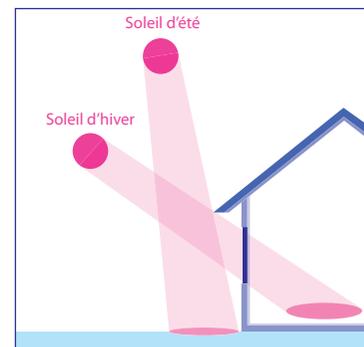
Pour limiter les besoins en chauffage, la première chose à faire est de profiter au maximum du rayonnement solaire. Dans la zone tempérée, c'est la façade sud qui reçoit le maximum d'ensoleillement en hiver. On a donc intérêt à augmenter la surface

de cette façade (et minimiser les autres), et donc à concevoir un bâtiment allongé dans l'axe est-ouest, si le site s'y prête. La façade sud contiendra également le maximum d'ouvertures (baies vitrées) afin de capter le plus d'énergie par rayonnement.

Est-ce efficace ? Oui ! Même dans le nord de la France, l'énergie reçue par le toit ou la façade sud d'une maison est très largement supérieure à celle qu'il faut pour la chauffer (environ cinq fois plus à Lille).

Dans une région chaude, il convient d'éviter que l'habitat ne se transforme en serre l'été. Pour cela, il suffit de faire écran à la lumière solaire... mais attention, cet écran ne doit fonctionner qu'en été ! Plusieurs dispositifs très simples peuvent remplir cette fonction, par exemple :

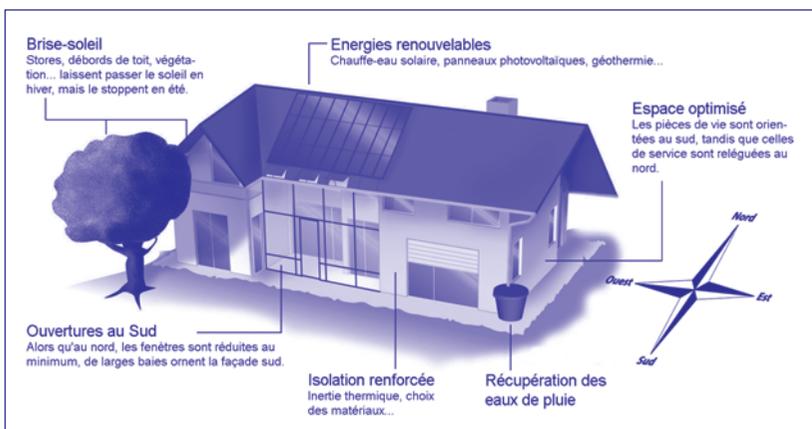
- la végétation : des arbres à feuilles caduques disposés devant les ouvertures laisseront passer la lumière en hiver (lorsqu'il n'y a plus de feuilles)... mais apporteront une ombre bien agréable en été ;
- les avancées de toit et autres « brise-soleil » : en hiver, les rayons du soleil sont très inclinés (le Soleil est bas dans le ciel) et parviennent à frapper les vitrages et ainsi chauffer la maison... mais ils sont arrêtés lorsqu'ils sont plus verticaux en été.



De cette orientation découle une répartition naturelle des pièces à l'intérieur du logement : les pièces à vivre sont préférentiellement orientées au sud afin que les habitants profitent d'un éclairage naturel, gratuit et prolongé, tandis que les pièces de service (buanderie, garage...) sont du côté nord.

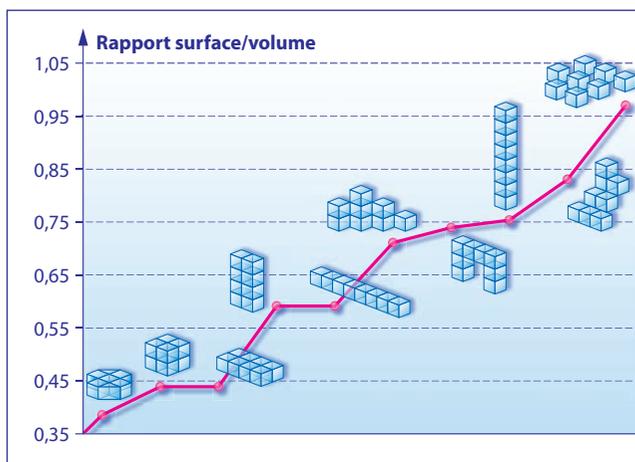
Outre l'orientation, la forme du logement est importante. À volume égal, plus la surface du bâtiment est importante, et plus les pertes thermiques seront grandes en hiver. Il faut donc privilégier un habitat compact, surtout dans les régions froides⁴. Cette compacité permet non seulement de

4. La forme la plus compacte est la sphère, d'où la forme des igloos !



diminuer les besoins en chauffage, mais aussi en matériaux de construction, ce qui est appréciable étant donné l'impact non négligeable de certains matériaux, comme le béton, sur l'environnement. La figure ci-contre montre différents agencements, tous de même volume, mais ayant des surfaces très différentes,

qui vont du simple au triple. À volume égal, un immeuble est beaucoup plus économe en énergie (et en matériaux) que plusieurs maisons individuelles.



L'isolation

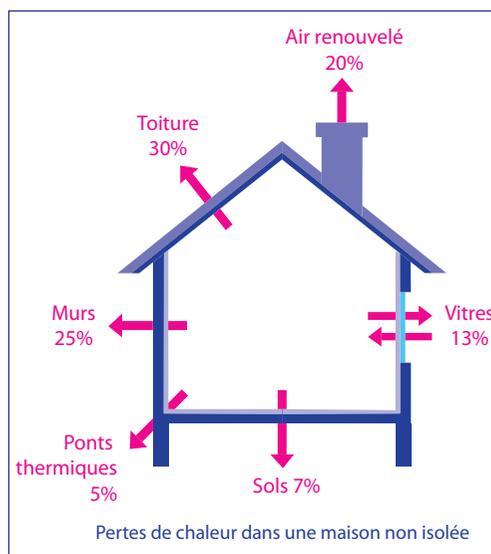
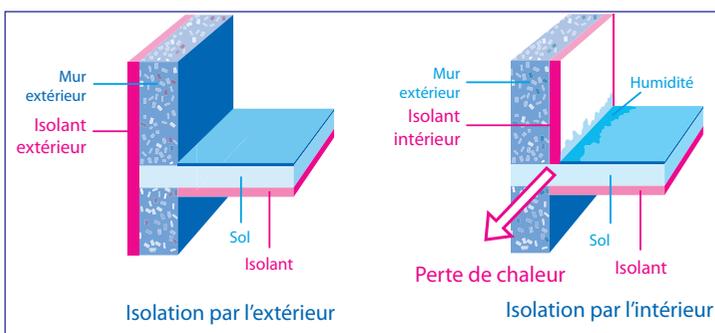
L'isolation est LA priorité de la rénovation de l'habitat ancien. Elle est par ailleurs obligatoire pour les constructions neuves. Son rôle est de limiter les échanges de chaleur par conduction (voir plus haut). En enveloppant le bâtiment d'un matériau qui ne conduit pas, ou mal, la chaleur, on freine en hiver les pertes de chaleur vers l'extérieur, et en été la pénétration de chaleur à l'intérieur.

L'isolation permet également de garder les parois du logement à une température la plus proche possible de celle de l'air intérieur, contribuant ainsi au confort des habitants.

Une maison individuelle non isolée perd de la chaleur à tous les niveaux : toiture (30 % des pertes), murs (25 %), aérations (20 %), vitrages (13 %) et sols (7 %). Les ponts thermiques (5 % des pertes) sont des points où l'isolation n'est pas continue, comme par exemple à la jonction d'une façade et d'un plancher.

Afin de limiter ces ponts thermiques, qui entraînent une surconsommation d'énergie mais aussi des risques de condensation, il est souvent préférable d'isoler par l'extérieur. Cette solution présente aussi l'avantage de bénéficier de l'inertie des murs (leur capacité à garder la chaleur en hiver... ou à rester frais en été, voir plus bas).

Le choix de l'isolant dépend de plusieurs paramètres : zone climatique, matériau utilisé pour la construction (certains matériaux étant eux-mêmes de bons isolants), espace à isoler (combles, murs, sols...).



Un bon isolant doit :

- ne pas conduire la chaleur. On dit qu'il a une faible « conductivité thermique » ;
- ne pas se réchauffer ou se refroidir trop facilement. Un tel matériau, dont la température ne varie pas, ou peu, permet de réduire les variations de température journalières ou saisonnières. On dit alors qu'il a une grande « capacité thermique » ou une grande inertie.

	Conductivité thermique (W/m.K) Ce nombre doit être le plus faible possible	Capacité thermique (Wh/m³.K) Ce nombre doit être le plus élevé possible	Épaisseur minimale pour l'hiver (cm)	Épaisseur minimale pour l'été (cm)
Panneau de fibre de bois	0.04	80	17.3	18.5
Liège expansé	0.045	42	19.5	27.1
Ouate de cellulose (recyclage de papier et carton)	0.04	33	17.3	28.6
Laine de mouton	0.04	10	17.3	53.5
Polystyrène	0.04	8	17.3	59.3
Laines minérales (laine de verre / laine de roche)	0.04	4	17.3	81.5

Comparaison de différents matériaux isolants, classés du plus au moins performant⁵.

Ce tableau montre que les isolants les plus fréquemment utilisés dans l'habitat (laine de verre, laine de roche, polystyrène) sont les moins performants ! Leur faible capacité thermique les rend complètement inopérants en été (pour une bonne isolation, il faudrait en mettre sur plus de 80 cm d'épaisseur !). Ils sont par ailleurs imperméables à la vapeur d'eau et entraînent donc des problèmes de condensation. Enfin, leur empreinte écologique est très élevée, qu'il s'agisse de l'énergie



nécessaire à leur fabrication, de leur non-recyclabilité ou encore d'effets sur la santé : les laines minérales sont allergènes tandis que le polystyrène émet du pentane, un gaz toxique, tout au long de la vie du bâtiment. La toiture offre une surface plus faible que les murs, mais c'est néanmoins la partie du bâtiment la plus sollicitée du point de vue thermique. En hiver, la chaleur se perd à la fois par conduction, mais aussi par convection (l'air chaud monte !). À l'isolation classique des combles, on peut ajouter une toiture végétalisée,

comme c'est fréquent dans les pays scandinaves. Cette solution, en plus d'apporter de très bonnes performances thermiques en été comme en hiver, offre de multiples avantages : amélioration de l'étanchéité, maintien de la biodiversité, baisse de la réverbération (en ville), amélioration de la qualité de l'air, régulation et filtration des eaux de pluie...

Rien ne sert d'isoler les murs et la toiture si l'on fait l'impasse sur les vitrages ! Une fenêtre double vitrage est constituée de deux vitres séparées par une lame « d'air » (en réalité, il s'agit souvent de gaz rares comme l'argon ou le krypton) qui joue le rôle d'isolant, si la lame est mince. En effet, si la lame

5. Source : *La Conception bioclimatique*, éditions Terre vivante, 2006.

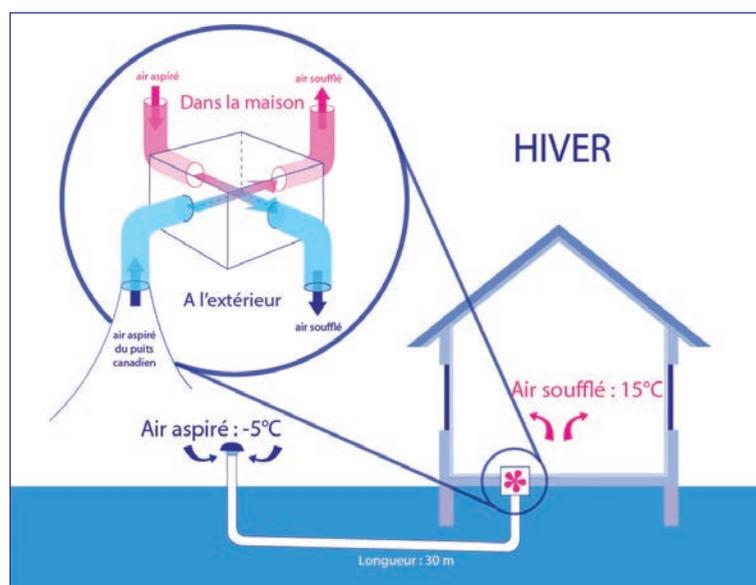
est épaisse, l'air peut se déplacer et les mouvements de convection ainsi créés sont très efficaces pour conduire la chaleur, ce qui est contraire à l'effet recherché. Aujourd'hui, on voit apparaître des triples vitrages, encore plus performants. Les gains thermiques entre double et triple vitrage sont faibles et n'ont un impact sensible que si l'habitat est parfaitement isolé par ailleurs (maisons passives, cf. page 32).

La ventilation

La chaleur, on l'a vu, peut également se propager par convection, c'est-à-dire par les mouvements d'air. L'air chaud s'évacue par le haut du bâtiment, remplacé par de l'air plus froid. Ce renouvellement de l'air intérieur est donc source de surconsommation d'énergie. Pourtant, un tel renouvellement est indispensable à un habitat sain ! La respiration des habitants génère du dioxyde de carbone (CO_2), dangereux pour la santé s'il est trop concentré⁶. Les feux (cheminées, chaudières...) produisent aussi du CO_2 et, lorsque l'arrivée d'air est insuffisante, du monoxyde de carbone (CO), plus dangereux encore. L'air intérieur est également pollué par différentes activités (cuisine, toilettes, poubelles, tabagisme), mais aussi par des composés toxiques issus des solvants, peintures et colles diverses que l'on trouve sur les murs ou les boiseries. À cette pollution s'ajoute la vapeur d'eau produite par la respiration, la cuisson, la douche, le séchage du linge, qui se condense et favorise le développement de moisissures.

Il est possible de ventiler efficacement son logement, sans pour autant perdre la chaleur précieusement conservée grâce à l'isolation du bâtiment. C'est le principe de la VMC (Ventilation mécanique contrôlée) à double flux : l'air entrant et l'air sortant passent dans un échangeur de chaleur, sans se mélanger. En hiver, l'air sortant réchauffe l'air entrant... alors qu'il le rafraîchit en été. Ainsi, les besoins en chauffage comme en climatisation sont fortement réduits.

Ce système est très efficace... mais on peut encore faire mieux en le couplant à un puits canadien. Le principe est simple : plus on s'enfonce dans le sous-sol, plus la température est stable. Vers deux mètres de profondeur, l'amplitude thermique est nulle entre le jour et la nuit, et deux fois plus faible qu'à la surface entre l'été et l'hiver.



Il suffit alors d'enterrer la canalisation de ventilation. En hiver, l'air froid extérieur se réchauffe au cours de son parcours sous terre... et arrive ainsi beaucoup moins froid dans la maison. En été, il arrive plus frais.

Le couplage d'un puits canadien et d'une VMC double flux permet des performances énergétiques remarquables : plus de 95 % des calories sont récupérées. Associés à une bonne isolation, ils suppriment presque tout besoin de chauffage ou de climatisation !

Les énergies renouvelables au secours de l'habitat

Une orientation bien pensée, une forme compacte, une bonne isolation et un système de ventilation performant permettent de réduire considérablement les besoins énergétiques de l'habitat, comme nous l'avons vu plus haut.

6. Le seuil de dangerosité est de 3 % ; habituellement, l'air contient seulement 0,04 % de CO_2 .

Il reste néanmoins des usages qui nécessitent de l'énergie : produire de l'eau chaude, s'éclairer, faire fonctionner l'électroménager. C'est là que les énergies renouvelables entrent en scène.

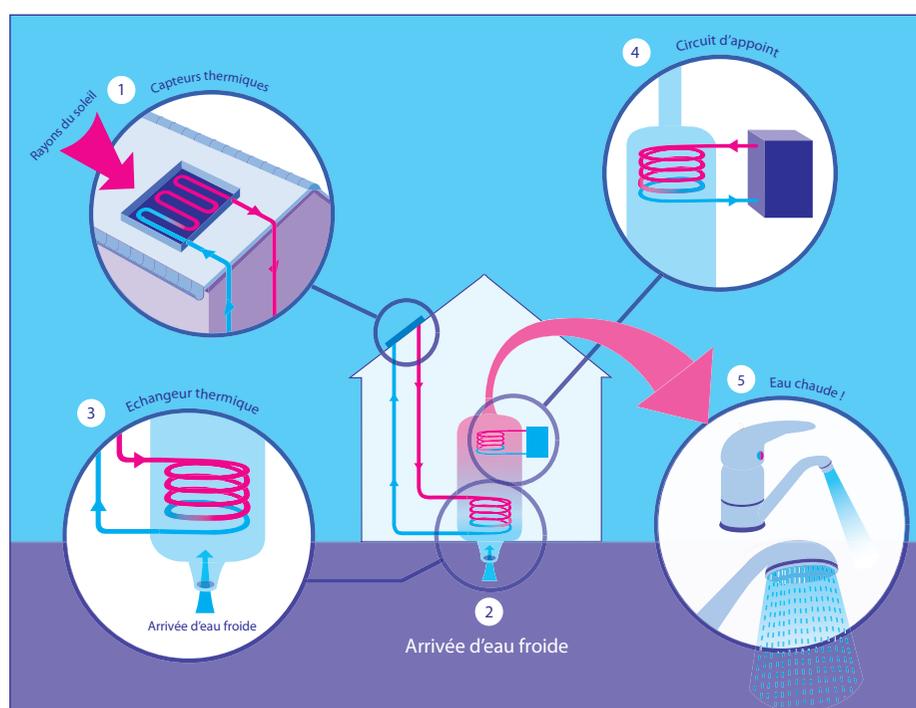
Avant toute chose, il convient de garder à l'esprit que l'usage de ces énergies renouvelables n'est efficace que si toutes les mesures permettant de réduire la consommation d'énergie du bâtiment et citées plus haut ont été prises. Dans le cas contraire, les énergies renouvelables seules ne peuvent suffire.

L'énergie solaire

Tirer de l'énergie du Soleil, quoi de plus naturel ?

La France reçoit chaque année 200 fois plus d'énergie de la part du Soleil qu'elle n'en consomme. La ressource est donc abondante, inépuisable et gratuite. Il existe de nombreuses façons de l'exploiter, mais nous ne détaillons ici que celles qui concernent l'habitat : la production d'eau chaude sanitaire et la production d'électricité domestique.

Les chauffe-eau solaires sont à la fois simples, robustes, fiables... et rentables.



Un chauffe eau solaire est constitué d'une surface sombre absorbant une grande partie du rayonnement solaire et la transformant en chaleur. Cette chaleur est ensuite transportée par l'intermédiaire d'un liquide (eau + antigel) qui la restitue ensuite à l'eau sanitaire, via un échangeur thermique⁷ situé dans le ballon d'eau chaude. Pour pallier des conditions parfois défavorables (longue période de mauvais temps...), le chauffe-eau solaire est souvent couplé à un système de chauffage d'appoint (électrique, gaz...).

L'efficacité du chauffe-eau solaire dépend de son orientation (au sud de préférence !) et surtout de sa taille : un capteur de 5 m² suffit par exemple pour couvrir 60 % des besoins en eau chaude d'une famille de quatre personnes en région parisienne.

La production d'électricité se fait par le biais de cellules photovoltaïques⁸ reliées entre elles pour former des panneaux qui transforment l'énergie solaire en courant électrique. L'électricité peut servir à recharger des batteries ou alimenter l'éclairage si celui-ci est basé sur des ampoules basse consommation. Les rendements actuels, de l'ordre de 15 %, sont encore trop faibles pour couvrir

7. Les deux circuits sont complètement indépendants : l'eau sanitaire n'est jamais en contact avec le liquide du circuit primaire.

8. C'est l'explication de l'effet photoélectrique qui valut le prix Nobel à Albert Einstein en 1921 : les électrons d'un matériau semi-conducteur sont mis en mouvement sous l'action de la lumière.

tous les besoins en électricité de l'habitat et pour en faire une énergie rentable (le kWh solaire est presque 10 fois plus cher que son équivalent nucléaire). Mais les progrès sont rapides (en laboratoire, on approche des rendements de l'ordre de 40 %) et le marché est en pleine explosion : + 100 % par an ! À ce rythme, cette source d'électricité deviendra rapidement efficace et rentable.

La géothermie

Le sol emmagasine d'énormes quantités d'énergie sous forme de chaleur, ce qui fait de la géothermie une source inépuisable à l'échelle de l'humanité. La température augmente au fur et à mesure de la profondeur, jusqu'à dépasser 5 000 °C au centre de la Terre. L'habitat exploite surtout les premiers mètres de profondeur, où la température varie entre 10 °C et 30 °C. La chaleur provient alors non pas des profondeurs de la croûte terrestre, mais du soleil, c'est pourquoi on qualifie parfois cette technique de géosolaire.

Elle consiste à puiser la chaleur présente dans le sol à travers des capteurs enterrés à l'horizontale ou à la verticale, selon la configuration du terrain. La chaleur récupérée évapore un fluide qui est ensuite condensé dans une pompe à chaleur. La condensation libère de l'énergie⁹ qui est récupérée et peut être utilisée pour le chauffage ou la climatisation.

La biomasse

On peut utiliser des composés organiques à des fins énergétiques, soit directement (combustion du bois), soit indirectement (fabrication de biogaz par fermentation de déchets organiques, gaz utilisé ensuite comme combustible). Dans la plupart des cas, l'énergie tirée du bois peut être considérée comme renouvelable¹⁰ et non carbonée, car le CO₂ produit lors de la combustion est réabsorbé ensuite par la photosynthèse... à condition bien sûr que l'on replante un arbre à chaque fois qu'on en coupe un.

Le chauffage au bois, utilisé depuis la préhistoire, suscite un regain d'intérêt en raison de l'augmentation du prix des énergies fossiles et de l'apparition de nouveaux procédés, bien plus performants que l'antique cheminée. L'utilisation de granulés¹¹ ou de plaquettes¹² permet non seulement de meilleurs rendements et une utilisation plus commode (la chaudière peut être alimentée automatiquement, contrairement aux bûches qu'il faut mettre à la main), mais aussi de valoriser les déchets de la filière bois, et ainsi d'obtenir un bilan écologique très satisfaisant.

De plus, le bois est le combustible le moins cher : le kWh revient à 5 centimes, contre 7 centimes pour le fioul ou 12 centimes pour l'électricité !

	Cheminée ouverte	Insert ou foyer fermé	Poêle à bûches	Chaudière ou poêle à granulés de bois	Chaudière à plaquettes forestières
Rendement (%)	< 10 %	70 %	70 %	90 %	85 %

Comparaison des rendements de différents dispositifs de chauffage au bois

9. C'est pour cela que l'eau bout plus facilement lorsqu'on couvre la casserole ! La vapeur, qui se condense sur le couvercle, fournit de l'énergie.

10. Il faut un siècle pour reconstituer le stock de bois d'une forêt... contre plusieurs millions d'années pour le pétrole.

11. Les granulés sont obtenus par compactage des copeaux et sciures de bois.

12. Les plaquettes sont produites par broyage du « petit bois » issu de l'exploitation forestière.

L'éolien

L'énergie éolienne présente un fort potentiel de développement en France... mais surtout à l'échelle industrielle : la loi dite de Grenelle 2, adoptée en mai 2010, interdit en effet toute implantation d'éolienne à moins de 500 m d'une zone habitée, ainsi que le déploiement d'éoliennes individuelles (tout nouveau parc doit compter au moins cinq éoliennes). L'énergie éolienne ne constitue donc qu'une solution d'appoint pour l'habitat, et dont la rentabilité n'est assurée que dans des conditions de vent très favorables.

La maison passive

En combinant les principes de la conception bioclimatique (une orientation au sud, une forme compacte, une très bonne isolation, une VMC double flux couplée à un puits canadien) et l'utilisation des énergies renouvelables (chauffe-eau solaire, panneaux photovoltaïques, chauffage par géothermie...), il est possible de construire des maisons dites « passives », qui produisent autant d'énergie qu'elles en consomment. Les émissions de gaz à effet de serre sont alors réduites au minimum. Ces habitations offrent par ailleurs un confort particulièrement appréciable.

Le surcoût à la construction est réel (+ 15 %), mais s'amortit en quelques années en raison des aides accordées et des économies d'énergie réalisées.

L'eau

Un élément hors du commun

L'eau est sans doute l'élément qui porte la plus grande charge symbolique. Tantôt destructrice (Déluge), tantôt purificatrice (baptême chez les chrétiens, ablutions chez les musulmans, bains rituels chez les hindous), on lui prête également des capacités de guérison (thermes), voire de miracles (Lourdes).



Tout cet imaginaire s'est développé autour d'une forme particulière de l'eau : l'état liquide. Dans la vie de tous les jours, l'eau est systématiquement associée à cet état (être en eau, perdre ses eaux, avoir l'eau à la bouche, se jeter à l'eau...). Son écriture même en témoigne. Ainsi, le caractère chinois désignant l'eau (prononcé « shui », à droite dans la figure ci-dessus) tire son origine d'un ancien caractère représentant une cascade dont le courant central est entouré de tourbillons ou d'éclaboussures (à gauche). Pourtant, l'eau n'est ni plus ni moins liquide que le fer ou l'oxygène, qui, eux aussi, existent à l'état liquide, solide ou gazeux suivant les conditions de température ou de pression.

L'eau est, à bien des égards, un corps chimique hors du commun :

- C'est un solvant quasi universel. Une propriété très utile dans le vivant, puisque l'eau dissout (et transporte) oxygène, CO₂, mais aussi nutriments et sels minéraux.
- Elle possède une très grande inertie thermique. Pour élever de 1 °C la température d'une masse donnée d'eau, il faut dépenser dix fois plus d'énergie que pour la même masse de fer ! Par leur inertie, les océans sont d'excellents régulateurs de la température du globe. C'est ce qui explique que le climat océanique est moins contrasté que le climat continental. Cette propriété permet également d'utiliser l'eau comme liquide de refroidissement ou liquide calorporteur (transporteur d'énergie).

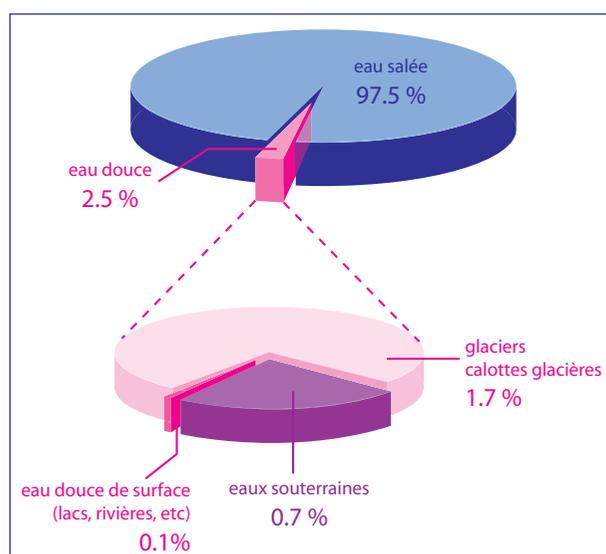
- La glace est très peu dense. En règle générale, un corps est plus dense à l'état solide qu'à l'état liquide. L'eau est une exception ; c'est ce qui fait flotter les icebergs... et aussi éclater les bouteilles pleines laissées au congélateur !

L'eau sur Terre

L'eau n'est pas très abondante dans l'univers¹³. On en trouve néanmoins sous forme solide ou gazeuse dans les nuages interstellaires, les étoiles froides, les planètes et les comètes.

La Terre est cependant le seul corps céleste connu qui abrite de l'eau liquide. Elle mérite bien son nom de « planète bleue », puisque 72 % de sa surface en est recouverte. La plus grande part de cette énorme quantité d'eau¹⁴ provient des océans, les eaux douces ne représentant que 2,5 % de l'ensemble... (de plus, la majeure partie de ces dernières se trouve sous forme de glace aux pôles, et reste donc inaccessible).

Au final, l'eau disponible pour l'humanité représente moins de 1 % du total. Cela suffirait amplement si cette eau était équitablement répartie, mais il n'en est rien, comme nous le verrons par la suite.



Les hommes et l'eau

L'accès inégal à l'eau potable

« Nous buvons 90 % de nos maladies », disait Pasteur. Si l'eau est indispensable à la vie, le manque d'eau ou la mauvaise qualité de l'eau constituent la première cause de mortalité sur la planète. En Afrique, près de 5 000 enfants meurent chaque jour de diarrhées et, dans le monde, un milliard de personnes n'ont pas accès à l'eau potable.

Les régions arides d'Afrique du Nord et du Sud, d'Australie et du Moyen-Orient, situées le long des tropiques, couvrent environ le tiers des terres émergées de la planète. L'évaporation y est très forte et les précipitations très rares. À l'inverse, les régions tempérées et intertropicales sont favorisées. L'accès à l'eau douce n'est donc pas équitable.

Cette inégalité ne va pas se résorber au cours du XXI^e siècle, bien au contraire. Non seulement l'explosion démographique annoncée concernera pour l'essentiel des régions souffrant déjà du manque d'eau, mais le réchauffement climatique, perturbant le cycle de l'eau, augmentera les contrastes existants : les régions sèches seront encore plus sèches et les régions humides plus humides. Par ailleurs, ce réchauffement entraînera au cours des prochaines décennies une pénurie d'eau potable dans plusieurs régions très peuplées, en raison de l'augmentation du niveau des mers (des réserves d'eau potable seront inondées par de l'eau salée), d'une part, et de la fonte des glaciers continentaux, d'autre part. Cette fonte, même partielle, entraînera à terme une baisse de débit de certains grands fleuves. Rien qu'en Asie, 750 millions de personnes sont concernées.

Ainsi, l'eau pourrait bien devenir une ressource aussi convoitée que l'était le pétrole au XX^e siècle.

13. On estime que l'eau constitue un millionième de la masse totale de l'univers visible.

14. Il y a environ 1,4 milliard de kilomètres cubes d'eau sur terre (1 km³ = mille milliards de litres).

De l'eau pour l'industrie au Nord et pour l'agriculture au Sud

L'eau est une ressource essentielle au développement des sociétés humaines, mais l'usage majoritaire qui en est fait dépend beaucoup du stade de développement de ces sociétés.

Ainsi, les pays du Nord utilisent la plus grande partie de leur eau pour l'industrie, tandis que les pays du Sud la réservent en majorité à l'agriculture.

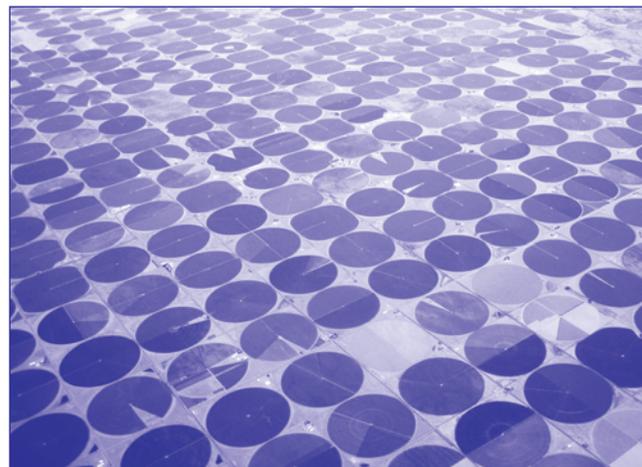
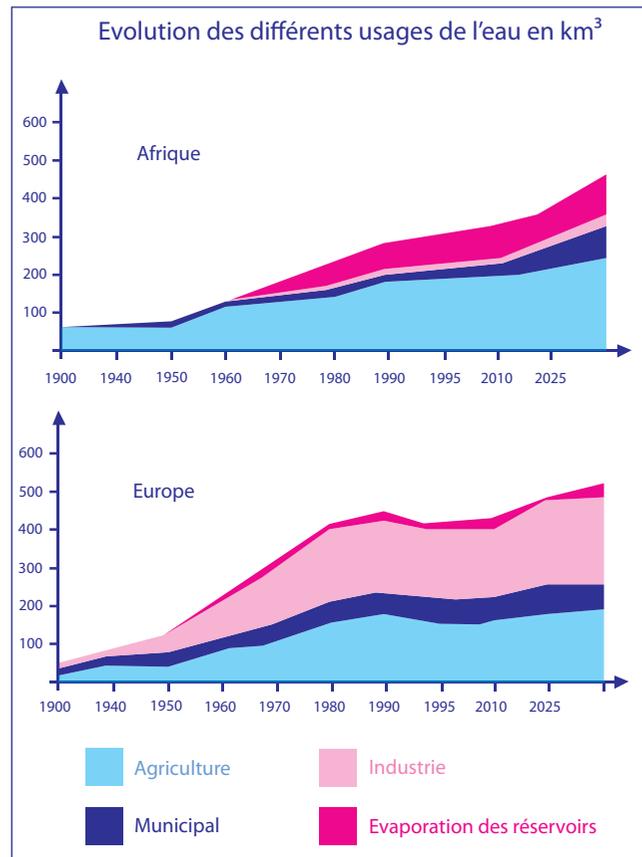
L'industrie utilise en effet de grandes quantités d'eau, soit pour le refroidissement des centrales électriques, soit pour la transformation et la fabrication de produits manufacturés : chimie, textile, industrie du papier, métallurgie, etc. Il faut par exemple 500 l d'eau pour fabriquer 1 kg de papier ou 1 kg d'acier, et 35 l d'eau pour fabriquer 1 kg de ciment (voir page 20 pour plus de détails sur l'impact environnemental du ciment).

L'agriculture reste aujourd'hui le premier secteur consommateur d'eau dans le monde, puisque les trois quarts de toute l'eau consommée le sont à des fins d'irrigation. Dans certains pays, comme l'Inde ou le Mexique, cette proportion atteint 90 % ! C'est aussi le premier gaspilleur, puisque la majorité de toute cette eau se perd par évaporation avant d'avoir été utile. L'utilisation de techniques efficaces, comme le goutte à goutte, tarde encore à s'imposer, y compris dans les pays développés.

Usages de l'eau en France

En France, près de 60 % de l'eau prélevée sert à refroidir les centrales électriques (cette eau est cependant restituée après utilisation). À l'inverse, l'irrigation n'en prélève qu'une faible part (15 %), mais le plus souvent en été, quand le niveau des cours d'eau est au plus bas. Cette eau n'est, pour l'essentiel, pas restituée. Outre les prélèvements en eau, l'agriculture est aussi à l'origine des principales pollutions des nappes phréatiques (azotes, nitrates, pesticides...).

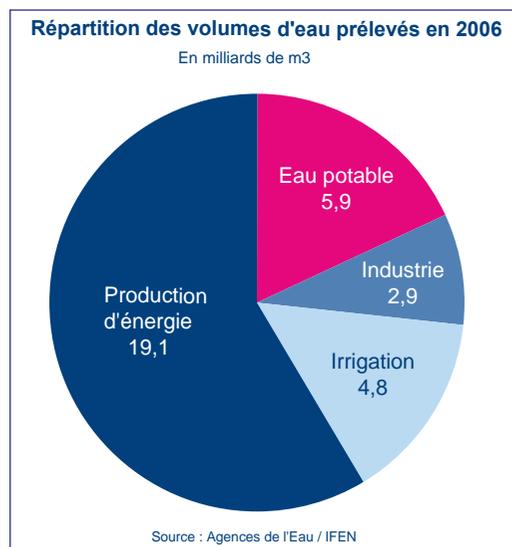
L'industrie française est assez performante dans le domaine, puisque sa consommation baisse régulièrement depuis 20 ans.



Vue aérienne de cercles de récoltes (Colorado, USA).
Chaque cercle mesure environ 1 km de diamètre. Ce type d'irrigation, produisant une pluie artificielle par le biais de pivots centraux, est très inefficace : plus de la moitié de l'eau prélevée s'évapore avant d'atteindre les plantes.

Produire de l'eau potable nécessite des traitements différents selon la provenance de cette eau :

- l'eau de source ou issue des nappes phréatiques profondes nécessite peu ou pas de traitement, car le sol est lui-même un filtre très efficace ;
- l'eau de surface (rivières, lacs...) nécessite un traitement plus ou moins lourd suivant le degré de pollution de la ressource. Une première étape de clarification permet d'éliminer les polluants les plus grossiers, qui tombent au fond d'un bassin ; une deuxième étape de filtration nettoie l'eau des impuretés plus fines et de certaines bactéries (par l'emploi d'un filtre au charbon actif) ; une troisième étape désinfecte l'eau, en général au moyen de chlore ou d'ozone.



Ainsi, la moitié des 550 000 m³ d'eau potable consommés chaque jour par les Parisiens est prélevée dans la Seine et la Marne, puis traitée dans trois usines de potabilisation situées dans le sud-est de la région parisienne (Orly et Ivry, sur la Seine, Joinville, sur la Marne).

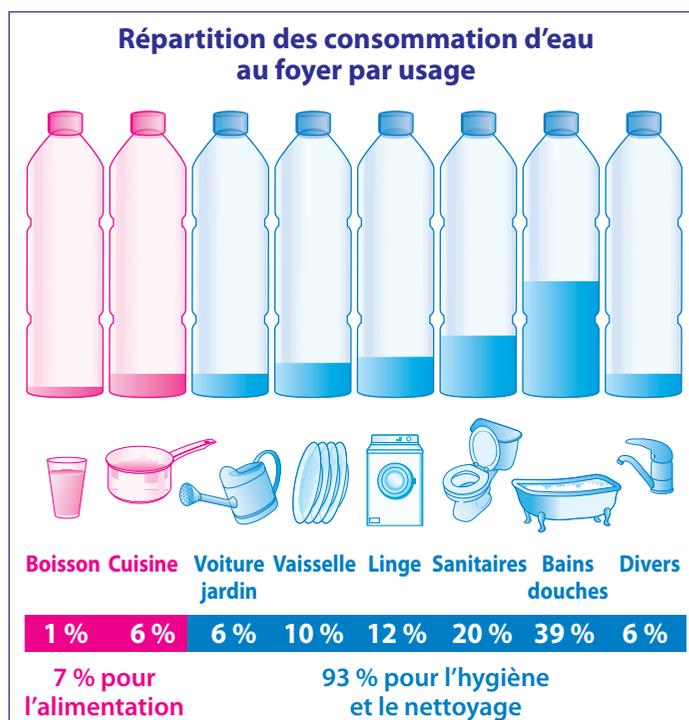
En 2010, le prix moyen de l'eau en France est de 3 euros le m³, mais cette valeur cache d'importantes disparités selon les régions. Cette variation, qui va du simple au double, s'explique par les traitements nécessaires à la potabilisation de l'eau, mais aussi par les coûts d'acheminement et de collecte, plus importants en milieu rural.

Au regard de l'importance vitale de l'eau, on peut considérer que son coût est assez faible : un Français dépense deux fois plus pour son téléphone, et cinq fois plus pour sa voiture, que pour l'eau.

L'eau dans l'habitat

La consommation domestique de l'eau est longtemps restée réduite car il fallait aller la chercher à la source ou à la fontaine et se déplacer au lavoir pour nettoyer son linge. L'eau potable devenue disponible à domicile en a favorisé la consommation et a grandement contribué au confort moderne : salle de bains, tout-à-l'égout, toilettes, lave-linge, lave-vaisselle... Un Français consomme aujourd'hui 150 litres d'eau par jour, soit 8 fois plus que ses grands-parents¹⁵ !

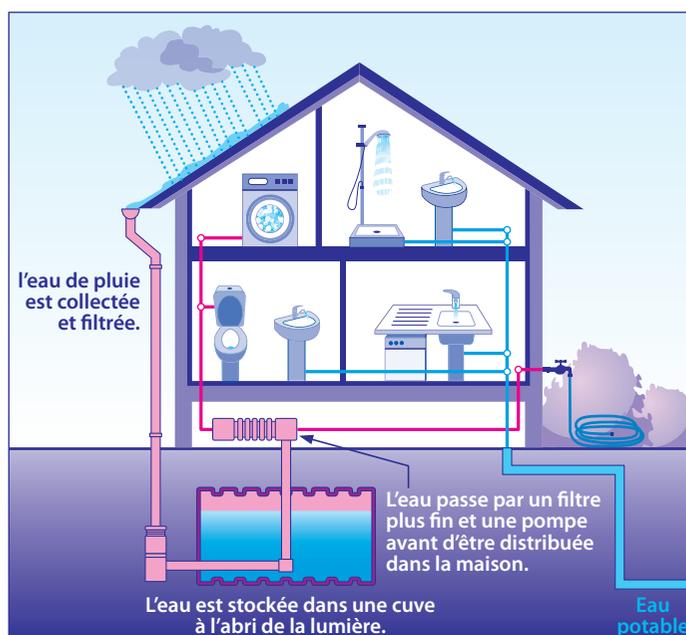
Seule une très faible partie de cette eau sert à l'alimentation. Les premiers postes de consommation sont l'hygiène personnelle, la chasse d'eau et le nettoyage.



15. Cette évolution a été encore plus spectaculaire dans d'autres pays développés : un New-Yorkais consomme 400 l d'eau par jour et un Québécois 800 l !

	Consommation d'eau
Tirer la chasse d'eau	10 l
Prendre une douche (5 min)	60 l
Prendre un bain	200 l
Faire une lessive (lave-linge)	80 l
Faire un cycle de lave-vaisselle	15 l
Faire la même vaisselle à la main	50 l
Laisser un robinet fuir (goutte à goutte)	4 l par heure
Laver la voiture au jet d'eau	200 l
Arroser la pelouse (jardin de 100 m ²)	1 700 l
Remplir une piscine (de 5 m de diamètre et 1,20 m de profondeur)	25 000 l

Consommation d'eau issue de quelques gestes du quotidien.
Source : Centre d'information sur l'eau (<http://www.cieau.com>)



Un robinet qui fuit goutte à goutte gaspille 100 l d'eau par jour. La réparation des fuites n'est donc pas une affaire à négliger ! De même, l'installation d'une chasse d'eau à double capacité (3 ou 6 l) permet de faire économiser 40 m³ d'eau par an à une famille de quatre personnes. Plus surprenant : faire la vaisselle à la main consomme bien plus d'eau (et d'énergie) que d'utiliser un lave-vaisselle moderne, pour peu qu'on le remplisse entièrement. Des économies substantielles peuvent être obtenues, nous l'avons vu, par des gestes simples du quotidien. Mais ça n'est pas tout. Abondante et gratuite, l'eau de pluie peut être collectée via la toiture et

stockée dans une citerne enterrée, puis utilisée pour l'arrosage du jardin ou le lavage de la voiture, par exemple. En France, chacun a le droit d'utiliser des eaux pluviales tombant sur son terrain. Les quantités d'eau récoltées (entre 40 et 70 m³ par an selon les régions et la taille de la toiture) sont suffisantes pour alimenter également une partie du réseau interne de l'habitat. L'usage intérieur, même limité à la chasse d'eau et au lave-linge, nécessite des précautions particulières pour filtrer et assainir l'eau de pluie. Cette eau ne doit en aucun cas être considérée comme potable ! Les deux réseaux, d'eau potable et d'eau de pluie, doivent être bien disjoints car remettre en état un circuit de distribution d'eau potable pollué par des eaux de pluie revient à plusieurs dizaines, voire plusieurs centaines de milliers d'euros...

Traitement des eaux usées

Comme nous l'avons vu plus haut, produire de l'eau potable est un processus qui peut être assez lourd, selon la ressource, et dont les contrôles de qualité sont très stricts. Il n'est pas question de déléguer cette opération aux particuliers.

En revanche, le traitement des eaux usées peut être effectué localement. L'assainissement individuel est même bien adapté en zone rurale¹⁶, car souvent moins onéreux que l'assainissement collectif. Il est très efficace à condition d'être bien conçu et entretenu.

Les eaux usées sont tout d'abord collectées et mises à décanter dans une fosse « toutes eaux » (ou fosse septique), ce qui permet d'éliminer les particules solides et les graisses¹⁷. Elles s'infiltrent ensuite dans le sol ou dans un bassin de sable, où les micro-organismes présents naturellement décomposent les polluants qui restent pour en faire du CO₂, de l'humus ou des sels minéraux absorbés par les plantes. Depuis quelques années se développe chez les partisans de l'habitat écologique une autre technique, dite de « **phyto-épuration** ». Elle consiste à utiliser des plantes, notamment des roseaux, pour épurer les eaux usées de la maison (hors matières fécales, cette technique est donc préférentiellement couplée à l'utilisation de toilettes sèches).

De l'habitat écologique à la ville durable

L'étalement urbain : un fléau

Les Français, comme les habitants des autres pays développés, plébiscitent l'habitat individuel. Le logement idéal, pour près de 86 % d'entre eux¹⁸, est une maison avec jardin dans un espace aéré. Ces mêmes personnes recherchent par ailleurs la proximité des écoles, des loisirs, des commerces, des bassins d'emplois... et sont donc attirées par les centres-villes. À tel point que les prix des logements y flambent littéralement, poussant alors les populations à s'éloigner. Les centres-villes se dépeuplent et les banlieues s'étendent : c'est l'étalement urbain.

Tous les dix ans, en France, 6 000 km² de terrain, soit l'équivalent d'un département, sont urbanisés, principalement au détriment des zones agricoles. La conséquence directe de cet étalement est l'utilisation croissante de la voiture¹⁹, qui, outre qu'elle contribue grandement aux émissions de gaz à effet de serre et autres polluants atmosphériques, coûte cher, est source de nuisances sonores et de stress.

La densité, source de qualité de vie ?

La densité urbaine est souvent mal perçue car associée au développement des grandes barres érigées dans les années 1970, quand il a fallu construire beaucoup, vite et pas cher. Pourtant, cet habitat n'est pas un modèle de densité : il est à peine plus dense que certaines banlieues pavillonnaires... et beaucoup moins dense que l'habitat haussmannien, qui jouit, lui, d'une très bonne image !

Les urbanistes d'aujourd'hui tentent de réconcilier densité et qualité de vie en concevant des espaces urbains à la fois denses et vivables, comprenant des espaces verts, des équipements collectifs, des commerces de proximité...

Promouvoir les transports « doux »

Les moyens de transport utilisant l'énergie humaine, comme la marche, le vélo ou le roller peuvent retrouver droit de cité dans un environnement urbain dense. Le vélo, par exemple, est peu coûteux,

16. Environ 13 millions de Français sont en dehors d'une zone de raccordement à un système d'assainissement collectif.

17. Tous les 4 ans, au maximum, les fosses septiques doivent être vidangées et leurs contenus acheminés vers les stations d'épuration.

18. Enquête du CREDOC, 2006.

19. 75 % des trajets entre domicile et travail se font en voiture, avec une seule personne à bord.

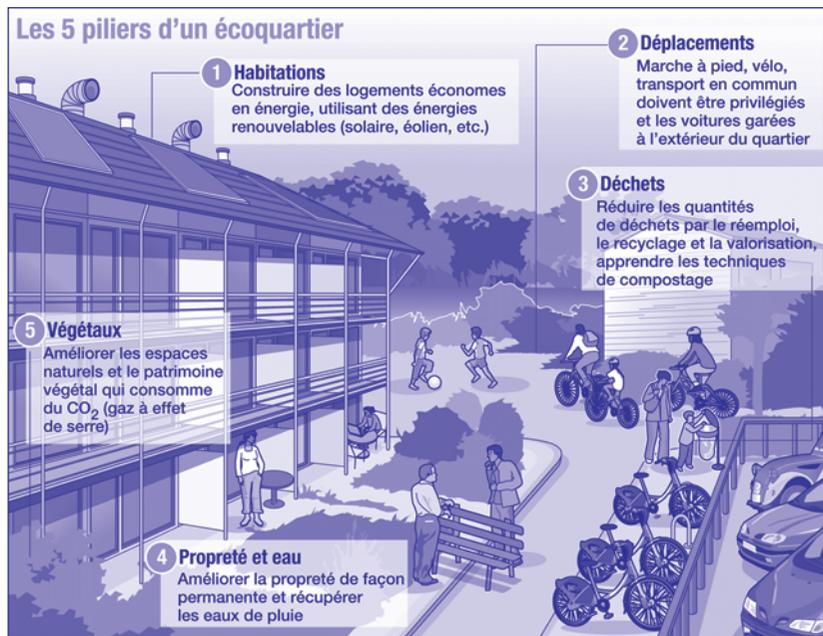
souple d'utilisation, non polluant... et c'est le moyen de transport le plus rapide en milieu urbain, sur des distances inférieures à 6 km : 15 min de vélo permettent de parcourir 3 km, distance qui correspond à la moitié des déplacements effectués en voiture chaque jour.

Les transports en commun, bus, trams, métros et trains, sont eux aussi plus rapides, plus écologiques et moins chers que la voiture. Et pour les inconditionnels, on voit aujourd'hui se développer des offres d'autopartage ou des sites Internet permettant d'organiser le covoiturage !

Villes durables et éco-quartiers

La ville durable, à la fois sobre en énergie, dense, respectueuse de l'environnement et des aspirations de ses habitants n'existe pas encore... mais on commence à voir de plus en plus de quartiers durables, ou éco-quartiers, nés en Europe du Nord et maintenant essaimant sur tous les continents.

Ces quartiers ne résolvent pas tous les problèmes environnementaux. Par exemple, l'amélioration de la qualité de l'air nécessite une action à l'échelle de la ville, voire au-delà. Cependant, ils permettent de réduire sensiblement la consommation en eau et en énergie des bâtiments, de limiter l'utilisation de la voiture, de recycler les déchets...



Prenons l'exemple du quartier Vauban, à Fribourg-en-Brisgau (Allemagne)²⁰. Ce quartier, dont la construction s'est achevée en 2006, est né de la volonté de réhabilitation d'anciennes casernes abandonnées et occupées illégalement. Il est situé à moins de 3 km du centre-ville, s'étend sur 38 ha et abrite plus de 5 000 habitants (2 000 logements). Par rapport à un quartier « classique », il se distingue de plusieurs manières :

- L'implication citoyenne des habitants dès les premières étapes de réflexion et de construction, encore persistante aujourd'hui à travers une vie associative très riche. C'est un quartier très convivial.
- La préservation des biotopes : le quartier est traversé par un ruisseau et comporte de vastes espaces boisés.
- La mixité des emplois, des services et des habitations : une zone d'activités de 6 ha regroupe 600 emplois. Le quartier possède une école, un jardin d'enfants, une église, des commerces, un marché, une maison de quartier, un centre socioculturel...

20. Ce quartier très célèbre sert de support à la séance 5-3 : « Qu'est-ce qu'un éco-quartier ? »

- La priorité donnée aux modes de transports « doux » (marche, vélo, tramway). Les piétons et vélos sont rois, la voiture n'occupant qu'une place marginale : des parkings sont disponibles à l'extérieur du quartier, les rues sont donc libérées pour devenir des espaces de jeux sûrs pour les enfants.
- La réduction de la consommation d'eau des habitants : récupération des eaux de pluie (utilisée pour les toilettes, le jardinage et le lavage du linge), et remplacement du bitume par un revêtement perméable laissant filtrer les eaux de ruissellement.
- Des logements à faible impact environnemental : isolation, exposition, matériaux écologiques, chauffe-eau solaires et panneaux photovoltaïques (faisant du quartier Vauban l'un des plus grands « quartiers solaires » d'Europe), toitures végétalisées...

Bilan : qu'est-ce que l'éco-construction ?

Les années 1970 ont vu émerger la conscience que nous vivons dans un monde fini, c'est-à-dire une planète suffisamment petite pour que les activités humaines puissent avoir un impact significatif (épuisement des ressources, réchauffement climatique...). Depuis, les grandes conférences internationales de Rio puis de Kyoto ont suscité une réflexion et mené à la définition de ce que pourrait être un développement durable.

Pour la construction, il s'agit essentiellement de réduire la consommation d'énergie pour le chauffage et le rafraîchissement des bâtiments. Les pionniers en la matière ont été les Allemands et les Suisses, qui ont créé des procédés permettant non seulement de construire des bâtiments neufs plus économes, mais aussi de rénover des bâtiments anciens, véritables « passoires énergétiques », en les isolant par l'extérieur. L'enjeu est de taille : en Europe, les bâtiments anciens représentent 99 % du patrimoine bâti ! La France en particulier possède un important héritage de bâtiments peu ou mal isolés, une grande quantité de maisons individuelles non mitoyennes, implantées loin des centres²¹ : ces caractéristiques jouent à la fois sur le bilan énergétique des maisons et sur celui de leurs habitants, qui se déplacent beaucoup en voiture.

L'éco-construction est une proposition, une démarche, pour tenter chaque fois que c'est possible de minimiser les impacts de l'habitat sur l'environnement, en termes d'utilisation de ressources et d'énergie, de réduction des pollutions, de préservation de la biodiversité... Dans chaque pays, il existe des nuances dans la définition des critères ainsi que dans leur hiérarchisation, mais la priorité est systématiquement donnée à la performance énergétique.

Deux tendances différentes se dessinent : l'une reposant sur des appareillages et matériaux de haute technologie (*high tech*), et l'autre, plus simple, reposant sur des solutions éprouvées de longue date ou des matériaux traditionnels (*low tech*).

Prenons une à une les étapes d'un projet d'éco-construction :

- Le choix du site : afin de limiter les déplacements, une implantation efficace est proche des services et privilégie la proximité de transports en commun ou de pistes cyclables. Elle est économe en terrain, avec une emprise au sol la plus réduite possible et de préférence mitoyenne, en continuité avec le bâti voisin. La position du bâtiment sur le terrain tient compte des données climatiques (ensoleillement, vents dominants...), de la présence d'eau et de la biodiversité.
- Le projet architectural : il cherche à répondre aux besoins des utilisateurs à l'intérieur d'un volume compact qui prévoit des flexibilités d'usages, sans espaces perdus ou superflus. Ce programme prévoit

21. Deux logements sur trois sont des maisons individuelles. Et près de la moitié des Français vit en banlieue ou dans le périurbain.

l'accessibilité optimale, la place pour le tri des déchets, les vélos... L'architecture soigne les transitions du public au privé, les apports en lumière naturelle, l'insertion dans le paysage et s'attache à organiser des pièces adaptées à l'orientation : séjour et chambres côté chaud (sud), cuisine, buanderie et cellier côté froid (nord). Elle répartit les ouvertures et murs pleins de façon à capter l'énergie solaire et la lumière, ainsi que les espaces intermédiaires intérieur-extérieur comme la serre ou la véranda.

- Les matériaux : ils sont adaptés aux ressources locales et au climat. Leur cycle de vie est le moins impactant possible sur l'environnement et la santé.
- L'isolation et l'inertie : pour veiller au confort thermique été comme hiver tout en minimisant la consommation énergétique, les parois doivent être capables d'isoler et de stocker la chaleur ou la fraîcheur, selon l'orientation et la saison.
- La gestion de l'eau : l'ensemble du cycle de l'eau autour et dans le bâtiment est conçu de façon à limiter la consommation d'eau et les rejets polluants : sols perméables (éviter le béton et le bitume), toiture végétalisée, récupération des eaux de pluie, phyto-épuration, utilisation de produits biodégradables pour le nettoyage...

Il est perceptible dans la liste précédente que les différents critères interagissent entre eux. Construire écologique nécessite à la fois d'envisager chaque thématique environnementale à part et de toujours garder à l'esprit les relations entre ces thématiques, car au final le bâtiment est une sorte d'écosystème qui interagit dans toutes ses dimensions.

HQE, bioclimatique, passif, basse consommation... quelques repères terminologiques

Dans la jungle des appellations et des nuances sémantiques, il est utile de distinguer les approches selon leurs critères :

- On appelle **bioclimatique** un bâtiment qui va chercher à optimiser la relation entre le volume construit, les pièces intérieures et le climat local (serre, orientation des pièces, espaces tampons, baies vitrées et protections saisonnières). Un bâtiment dit solaire aura des caractéristiques similaires.
- Le terme **passif** recouvre deux approches : d'une part, le label allemand de performance thermique (on écrit alors Passifhaus), et, d'autre part, le principe du passif qui s'oppose à l'actif avec des dispositifs architecturaux de régulation autonome de chauffage et de ventilation, sans technologies.
- On dit d'un bâtiment qu'il est à **énergie positive** s'il produit plus d'énergie qu'il n'en consomme, ce qui nécessite une performance accrue du bâti, des économies d'énergie de fonctionnement et une production d'énergie (capteurs photovoltaïques, par exemple).
- Un bâtiment **HQE** (haute qualité environnementale) peut avoir suivi une certification labellisée dans le cas de bureaux (label HQE tertiaire) ou témoigner simplement d'une démarche volontaire, sans validation officielle et selon un choix libre des critères.
- Les bâtiments à **basse consommation**, pour être labellisés, suivent le référentiel élaboré par le ministère de l'Environnement. Il s'agit donc d'une incitation forte qui deviendra un niveau de performance obligatoire pour tous les bâtiments dans la prochaine réglementation thermique de 2012.

NB : La confusion est fréquente entre démarche et label : une démarche est une initiative volontaire, libre et non certifiée ; tandis qu'un label est obtenu à l'issue d'une certification (payante) pendant tout le processus de conception et de construction.

Auteurs

David WILGENBUS, Myriam AHMED-YAHIA-BOURIDAH, Anne CLEMENSON, Raphaële HELIOT

Cette ressource a été produite avec le soutien des éditions Le Pommier

Date de publication

2010

Licence

Ce document a été publié par la Fondation *La main à la pâte* sous la licence Creative Commons suivante : Attribution + Pas d'Utilisation Commerciale + Partage dans les mêmes conditions.



Le titulaire des droits autorise l'exploitation de l'œuvre originale à des fins non commerciales, ainsi que la création d'œuvres dérivées, à condition qu'elles soient distribuées sous une licence identique à celle qui régit l'œuvre originale.

Fondation *La main à la pâte*

43 rue de Rennes

75 006 Paris

01 85 08 71 79

contact@fondation-lamap.org

Site : www.fondation-lamap.org

