

CONNAÎTRE LES BASES

L'énergie de la Terre

La notion d'économie d'énergie

Les perspectives d'épuisement des gisements de pétrole et de gaz, ainsi que l'instabilité internationale font monter les prix de l'énergie et rendent probable le maintien de cette tendance dans le futur. Par ailleurs, que ce soit en milieu urbain ou en milieu rural, les effets de la pollution se font de plus en plus sentir. Ces considérations doivent conduire à des comportements plus économes en énergie, afin de réduire tant la consommation en énergies marchandes que les rejets de polluants.

Les économies d'énergie ne datent pas d'hier (voir figure 1). Ainsi en France, l'Agence pour les économies d'énergie (ex-Ademe) a été créée en 1974. Un peu oubliée dans les années 1990, l'idée de contrôler ses consommations énergétiques revient sur le devant de la scène dès la décennie suivante. Le baril de pétrole était à moins de 20 \$ à la fin des années 1990, il dépassait 65 \$ en 2005. Cette tendance haussière pourrait bien se maintenir puisque les consommations mondiales d'énergie grimpent à un rythme moyen de 2 % par an (3,4 % pour la consommation de pétrole en 2004). Au rythme actuel de consommation, les gisements de pétrole et de gaz existants devraient se tarir vers 2045 pour le pétrole et 2075 pour le gaz. L'ère des énergies fossiles bon marché est donc passée. D'autant que les experts sont tous d'accord sur le fait que la production pétrolière va atteindre un maximum, le fameux "pic" de production, au cours des 15 prochaines années.

Si les ménages comme les industriels sont sensibles aux économies directes, l'effet "portefeuille" est moins efficace dans les secteurs des transports et du tertiaire. Dans ce dernier cas, les économies d'énergie peuvent pourtant s'avérer très importantes. Un bâtiment comprend un ensemble complexe de composants, comme l'éclairage, le chauffage, parfois la climatisation ou encore les consommations d'eau. Les déperditions thermiques d'un bâtiment mal isolé sont importantes et impliquent des consommations d'énergie considérables pour le chauffage des pièces. L'éclairage représente aussi une source de consommation importante. On sait aujourd'hui construire et rénover des bâtiments pour les rendre économes en énergie. Alors qu'en France un logement ou un bureau consomme en moyenne 200 kWh par m² et par an, on sait ramener ces besoins à 15 kWh/m²/an selon la technique des bâtiments dits passifs.

La figure 2 présente les consommations de deux logements. Celui de gauche est peu isolé. Celui de droite est à la fois mieux isolé et mieux conçu pour tirer parti des apports solaires. Dans les conditions du calcul et pour un même volume chauffé, on remarque que, à une réduction des déperditions de 40 % (de 188 kWh/m²/an à 111) correspond une réduction des dépenses en énergies marchandes de 66 % (de 220 kWh/m²/an à 67). Cela est rendu possible par des équipements améliorés (les pertes techniques sont réduites), mais aussi par des gains solaires nettement plus importants (de 24 kWh/m²/an à 57). Le bilan des fenêtres passe de -6 kWh/m²/an (gains = 24; pertes = 30) à +20 kWh/m²/an (gains = 57; pertes = 37).

Il est à remarquer que, si les déperditions par rejets sont réduites de 39 % (de 13 à 10), les émissions de polluants sont proportionnelles aux quantités d'énergie finale consommées et sont donc elles-mêmes réduites de 66 %.

La diminution de la consommation d'énergie peut s'obtenir sans perte de confort par l'amélioration de la conception et des composants du bâtiment.

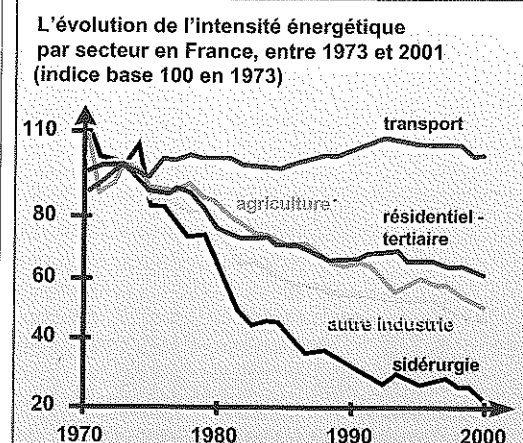
CONNAÎTRE LES BASES

L'énergie de la Terre

La notion d'économie d'énergie

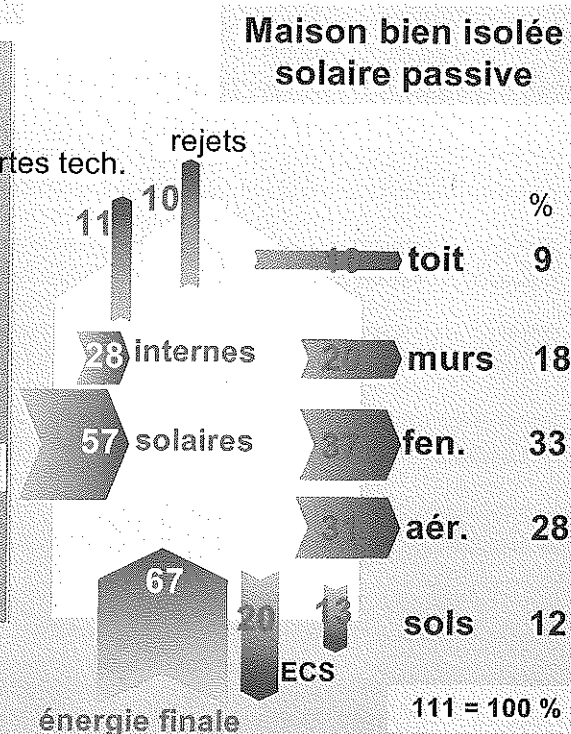
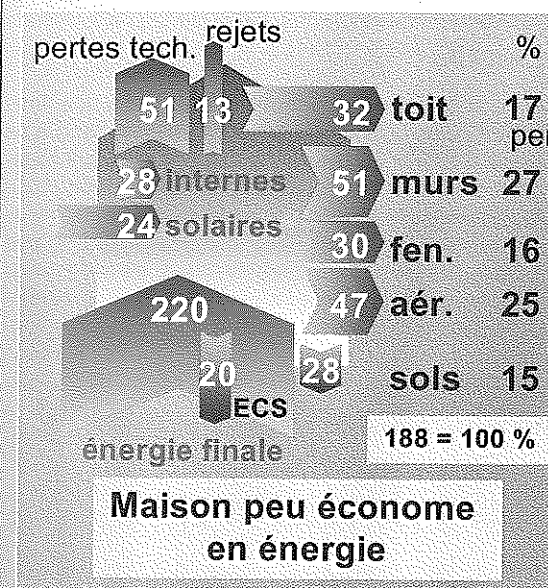
Économiser l'énergie, c'est obtenir le même confort en utilisant moins d'énergie.

C'est également rejeter moins de polluants dans l'atmosphère.



L'intensité énergétique mesure la quantité d'énergie primaire consommée par unité de valeur ajoutée. (Source : Observatoire de l'Économie, de l'Énergie et des Matières premières, ministère de l'Industrie, janvier 2003).

Pertes thermiques (kWh/m²/an)



2 Consommations comparées entre des bâtiments à performances énergétiques différentes.

CONNAÎTRE LES BASES
L'habitat et les paramètres du confort
Les sources de pollution extérieures

Les sources extérieures de pollution de l'air sont principalement liées à l'activité économique, au logement et au transport. Les combustibles fossiles contribuent pour 87 % à la consommation énergétique mondiale (pétrole 37 %, charbon 27 %, gaz 23 %). La combustion de ces combustibles émet chaque année plus de 22 milliards de tonnes de gaz carbonique dans l'atmosphère.

Le monoxyde de carbone (CO) résulte d'une combustion incomplète due au mauvais réglage d'appareils de chauffage et de moteurs (quel que soit le carburant). Incolore, inodore, il est très toxique, voire mortel. Les moteurs à essence mal réglés produisent 2 à 3 fois plus de CO que les moteurs Diesel ou GPL.

Le dioxyde de soufre (SO₂) est un produit de combustion du fioul, du charbon, du gasoil (véhicules Diesel) ou du raffinage du pétrole. Il intervient dans la formation des pluies acides. Ce phénomène, dont on parle depuis 1872 à propos des pluies tombant sur Manchester, n'a vraiment été reconnu qu'au cours des années 1980. Le dioxyde de soufre se combine aux oxydes d'azote dans l'atmosphère pour retomber sous forme d'acide sulfurique et nitrique. Une pluie est dite acide si son pH est inférieur à 5,6. Les pluies acides modifient le sol, altèrent les bâtiments à base de matériaux calcaires et favorisent les processus de corrosion.

Le gaz carbonique (CO₂) est un constituant naturel de l'air. À ce titre, il n'est pas, à proprement parler, un polluant, mais il est le principal gaz responsable de l'effet de serre et provient à 75 % de la combustion des carburants fossiles. Le carbone rejeté dans l'atmosphère est passé de 0,09 milliard de tonnes en 1850 à 7 milliards en 2005.

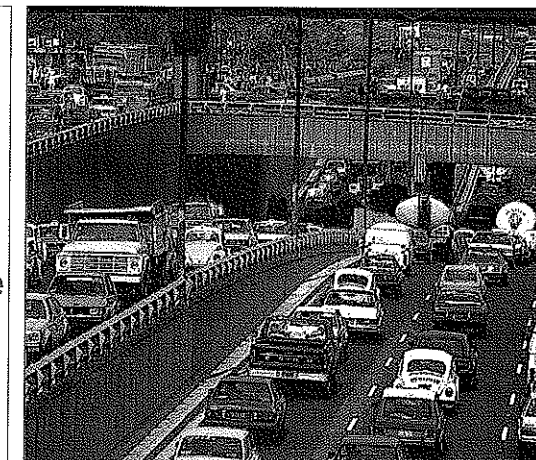
Le dioxyde d'azote (NO₂) réagit aux ultraviolets pour produire le smog photochimique et contribue à la destruction de l'ozone de la basse stratosphère. Les combustions à haute température (véhicules à moteur, surtout Diesel) produisent du monoxyde d'azote (NO) qui se combine à l'oxygène de l'air pour former du protoxyde d'azote (N₂O) et avec de la vapeur d'eau, forme également de l'acide nitrique HNO₃.

La figure 2 indique la part de différents secteurs d'activité dans l'émission de quatre types de polluants atmosphériques, en France, en 2003.

Établi en 1997, le protocole de Kyoto est un calendrier international s'attaquant aux émissions de six gaz à effet de serre : le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O), l'hydrofluorocarbure (HFC), l'hydrocarbure perfluoré (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF₆). En 2001, les États-Unis, qui émettent 30 à 35 % du total des gaz à effet de serre d'origine humaine, ont décidé de ne pas ratifier le protocole. L'Union européenne l'a ratifié le 31 mai 2002 et s'est engagée à réduire ses émissions de 8 %, entre 2008 et 2012, par rapport au niveau de 1990.

CONNAÎTRE LES BASES
L'habitat et les paramètres du confort
Les sources de pollution extérieures

87 % de la consommation
énergétique mondiale
viennent des combustibles
fossiles (pétrole 37 %,
charbon 27 %, gaz 23 %).
Leur combustion émet chaque
année plus de 22 milliards
de tonnes de CO₂
dans l'atmosphère.



Les transports sont une des causes principales de la pollution de l'air.

Sources extérieures de
pollution de l'air

Rejets par secteur (en %)	SO ₂	CO ₂	CO	CH ₄
Transformation de l'énergie	52 %	14 %	-	5 %
Résidentiel/Tertiaire	12 %	24 %	30 %	6 %
Transport routier	5 %	25 %	35 %	-
Industrie manufacturière	26 %	20 %	25 %	18 %
Agriculture/Sylviculture	2 %	14 %	7 %	70 %
Autres transports	3 %	2 %	2 %	-
Autres	-	1 %	1 %	-
Total en 2003 (kt/an)	492 kt	346 000 kt	5 897 kt	2 775 kt

2 Contributions des différents secteurs d'activité à la pollution de l'air en France.
(Source : CITEPA.)

La physique moderne reconnaît au rayonnement électromagnétique deux caractères : ondulatoire et corpusculaire.

Le caractère ondulatoire repose sur la notion de radiation monochromatique, c'est-à-dire une oscillation sinusoïdale caractérisée par sa période T (en seconde) ou son inverse, la fréquence $\nu = 1/T$ (en hertz).

On préférera, en pratique, parler de longueur d'onde λ représentant la distance parcourue par l'onde pendant la durée d'une période et mesurée en nanomètre (Fig. 1). La longueur d'onde est reliée à la fréquence par la vitesse c de propagation de l'onde : $c = \lambda \cdot \nu$ où c ne dépend que du milieu de propagation (environ 300 000 km/s pour l'air).

Le caractère corpusculaire de la lumière a été mis en évidence par l'observation du fait que l'émission et l'absorption de lumière par la matière se font de manière discontinue, comme si le rayonnement était composé de corpuscules (photons), dont l'énergie $\Delta E = h \cdot \nu$ où h est la constante de Planck et s'exprime en électron-volt (c'est la théorie des quanta).

Le mélange des diverses radiations du domaine visible forme la lumière naturelle, ou lumière blanche, la seule qui permette à l'œil d'apprécier finement les couleurs. Les différentes radiations colorées composant la lumière naturelle apparaissent aisément lors de leur réfraction dans un prisme ou dans des gouttes d'eau (phénomène de l'arc-en-ciel). Elles permettent de définir un spectre continu de rayonnement de la lumière naturelle (Fig. 2, courbe blanche).

L'œil est naturellement adapté à la lumière du jour. Par conséquent, la lumière émise par les sources artificielles doit avoir la même composition spectrale que la lumière naturelle pour que ne soit pas altérée la vision des couleurs. En effet, tout objet réfléchit sélectivement les radiations colorées qu'il reçoit. Par exemple, s'il ne réfléchit que le rouge, il apparaît rouge. Si, par contre, la lumière artificielle incidente ne contient pas de rayonnement dans le domaine du rouge, la couleur apparente de l'objet est différente. Ce phénomène est courant avec l'éclairage fluorescent, spécialement dans les tons qui apparaissent orange-rouge en lumière naturelle.

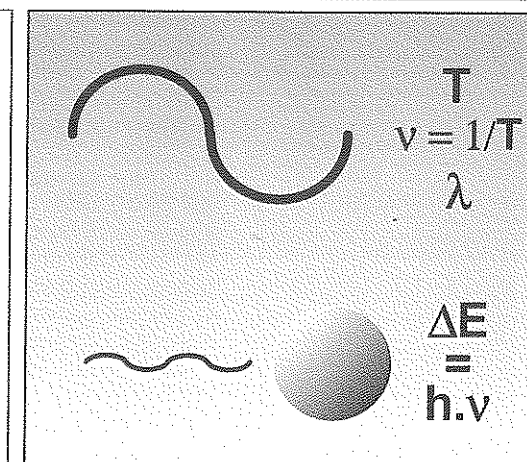
Si l'on étudie une source lumineuse artificielle et qu'on établit son spectre de rayonnement, on constate qu'il peut être continu (Fig. 2, lampe fluorescente ou lampe au tungstène) ou discontinu (Fig. 2, lampe à vapeur de sodium), c'est-à-dire que la lumière émise n'est pas une lumière blanche (naturelle). Tout spectre lumineux, différant de celui de la lumière du jour, modifie la couleur apparente d'un objet.

La figure 2 permet de comparer le spectre de la lumière naturelle (courbe blanche) à ceux de diverses lumières artificielles. En abscisse, on trouve les fréquences en nanomètre et en ordonnée, l'énergie relative du flux lumineux des lampes étudiées (en %). En jaune, on rappelle la courbe de sensibilité de l'œil, dont le maximum correspond à la longueur d'onde du vert-jaune (555 nm). Les longueurs d'onde correspondant à la sensibilité maximale de l'œil sont :

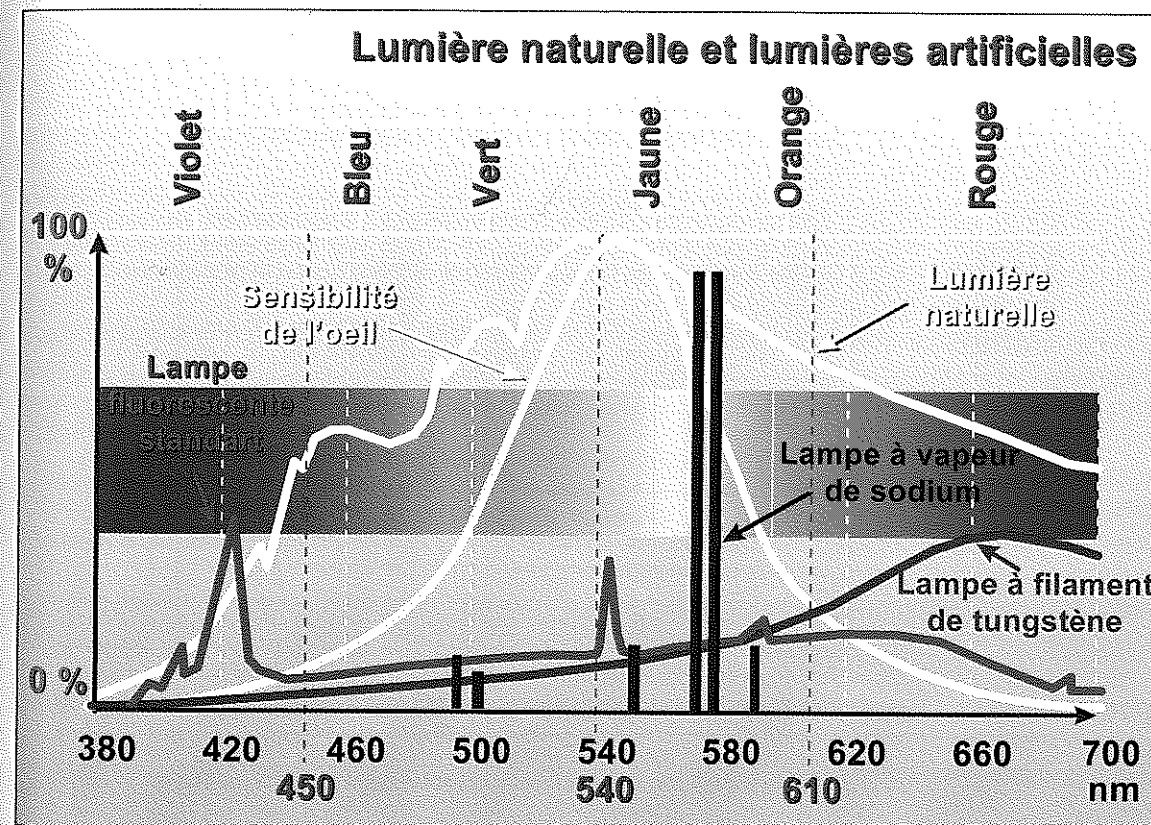
- pour le bleu : 450 nm,
- pour le vert : 540 nm,
- pour le rouge : 610 nm.

Le caractère ondulatoire de la lumière est caractérisé par sa période T , sa fréquence ν et sa longueur d'onde λ .

La lumière naturelle est appelée lumière blanche.



Caractères ondulatoire et corpusculaire de la lumière.



2 Comparaison entre la répartition spectrale de la lumière naturelle et de lumières artificielles.

CONNAÎTRE LES BASES

La réglementation thermique

La conductivité thermique λ des matériaux

Lorsqu'un matériau est soumis à des différences de température en son sein, il naît un flux de chaleur Φ qui tend à l'équilibre des températures. Ce flux de chaleur dépend de la différence entre les températures et des caractéristiques du matériau :

$$\Phi = c \cdot (T_1 - T_2).$$

La constante de proportionnalité c dépend de l'épaisseur e de la paroi entre les deux températures données et de la conductivité thermique λ , qui mesure la capacité propre du matériau à conduire la chaleur :

$$c = e/\lambda.$$

Par conséquent, plus l'épaisseur du matériau est importante, plus c augmente. Par contre, plus la conductivité thermique diminue, plus c augmente.

La conductivité thermique d'un matériau est égale à la quantité de chaleur qui traverse un mètre d'épaisseur de ce matériau par seconde et par mètre carré de surface, lorsque la différence de température entre les deux faces du matériau est de 1 K. Elle s'exprime en W/m.K.

La valeur de λ est faible pour les matériaux isolants et importante pour les matériaux conducteurs. Les matériaux sont considérés comme isolants lorsque leur conductivité thermique est inférieure à 0,065 W/m.K. La figure 1 compare l'épaisseur nécessaire pour qu'une paroi en béton armé (2,2 W/m.K) présente les mêmes caractéristiques qu'une paroi idéale en laine minérale (0,04 W/m. K). Les matériaux lourds de maçonnerie constituent donc jamais une isolation acceptable.

Les facteurs influençant la conductivité thermique d'un matériau sont :

- son poids volumique ;
- sa teneur en eau ;
- la taille de ses pores d'air ;
- la nature du solide les renfermant.

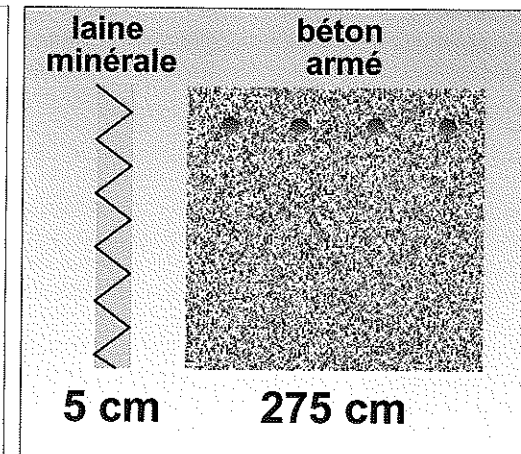
La présence d'eau à l'intérieur du matériau influence sa conductivité thermique. La porosité intrinsèque des matériaux, conjuguée à leur exposition à l'eau, peut faire varier sensiblement leur conductivité thermique. La figure 2 indique, pour quelques matériaux du bâtiment, les valeurs λ en condition sèche et en condition humide. Celle des matériaux isolants n'est donnée qu'en condition sèche car il est déconseillé de les utiliser là où ils pourraient s'humidifier (condensation, vapeur d'eau, etc.). Leur performance isolante décroît alors très sensiblement. Les métaux, matériaux non poreux, ont une conductivité thermique constante.

CONNAÎTRE LES BASES

La réglementation thermique

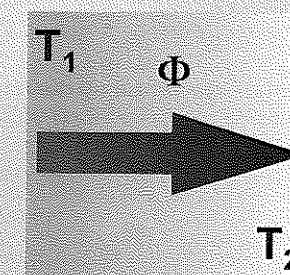
La conductivité thermique λ des matériaux

La conductivité thermique d'un matériau est égale à la quantité de chaleur qui traverse un mètre d'épaisseur de ce matériau par seconde et par mètre carré de surface, lorsque la différence de température entre les deux faces du matériau est de 1 K. Elle s'exprime en W/m.K.



1
Compression des épaisseurs de deux matériaux pour obtenir une même résistance thermique.

	sec	hum.		Conductivité thermique λ des matériaux en W/m.K
Matériaux isolants	0,028 0,040 0,058 0,065		polyuréthane laine minérale, liège vermiculite perlite	
Bois et dérivés	0,17 0,12	0,19 0,13	feuillus durs résineux	
Maçonneries	0,27 0,54 0,90	0,41 0,75 1,1	briques 700-1 000 kg/m ³ briques 1 000-1 600 kg/m ³ briques 1 600-2 100 kg/m ³	
Verre	1,0	1,0		
Béton armé	1,7	2,2		
Pierres naturelles	1,40 2,91	1,69 3,49	tuft, pierre tendre granit, marbres	
Métaux	45 203 384		acier aluminium cuivre	



2 Valeurs de la conductivité thermique pour quelques matériaux du bâtiment.

Flux de chaleur

Lorsque deux faces d'une paroi sont soumises à des différences de température, il naît un flux de chaleur qui tend à l'équilibre des températures. Ce flux de chaleur dépend de la différence entre les températures et du pouvoir isolant de la paroi.

Résistance thermique

Cette capacité isolante de la paroi est définie par un coefficient R, appelé résistance thermique et exprimé en $m^2.K/W$.

Un matériau à fort pouvoir isolant thermique a une résistance thermique élevée (et inversement). Les isolants thermiques peuvent être placés à différents endroits de l'enveloppe, sans incidence sur leurs propriétés. L'emplacement aura cependant une influence sur l'inertie de l'enveloppe et le risque de condensation.

est l'inverse de la quantité de chaleur passant à travers $1 m^2$ d'un système (ex. : paroi) pour une différence de température de 1 K entre les deux faces de ce système.

Pour une couche thermiquement homogène, c'est-à-dire composée de matériaux ayant à peu près les mêmes valeurs de conductivité thermique (à l'exception des lames d'air), et avec un flux de chaleur perpendiculaire au système, on aura :

$R = e/\lambda$ avec e l'épaisseur de la couche (m) et λ la conductivité thermique ($W/m.K$).

Pour une couche thermiquement hétérogène, c'est-à-dire composée de matériaux ayant des valeurs de conductivité thermique différentes, et avec un flux de chaleur perpendiculaire au système, on aura :

$U = 1/U - R_{si} - R_{se}$ avec U coefficient de transmission surfacique de la couche, R_{si} la résistance superficielle vis-à-vis de l'intérieur, et R_{se} la résistance superficielle vis-à-vis de l'extérieur.

Coefficient de transmission

l'inverse de R, U le coefficient de transmission surfacique (unités $W/m^2.K$) mesure l'aptitude d'un système à laisser passer la chaleur.

remplace la notation K utilisée dans les précédentes réglementations et s'évalue à l'aide des règles Th-U. De même, le coefficient de transmission linéique, anciennement k et exprimant notamment les déperditions par ponts thermiques, est remplacé par les notations Ψ ($W/m.K$) et χ (W/K), caractérisant respectivement les transmissions linéiques ponctuelles.

Le calcul du coefficient U fait la distinction entre plusieurs types de paroi :

Parois opaques

Parois donnant sur l'extérieur ou sur un local non chauffé

Une telle paroi est uniquement caractérisée par son coefficient intrinsèque U_p et autorise un calcul simple (fig. 2) :

Paroi sans ponts thermiques intégrés et avec un flux de chaleur perpendiculaire.

$$U_p = 1/(R_{si} + \Sigma R + R_{se})$$

avec ΣR somme des résistances thermiques des différents matériaux de la paroi.

Paroi avec ponts thermiques intégrés et avec un flux de chaleur perpendiculaire

$$U_p = U_c + (\Sigma_i \Psi_i \times L_i + \Sigma_j \chi_j)/A$$

avec L_i linéaire du pont thermique de la liaison i.

Parois en contact avec le sol ou donnant sur un vide sanitaire ou un sous-sol non chauffé

Les déperditions de ce type de paroi sont exprimées à l'aide d'un coefficient de transmission surfacique "équivalent" U_e , évalué en fonction des caractéristiques propres de la paroi et de son environnement (qui induit un facteur de pondération dépendant de différents paramètres).

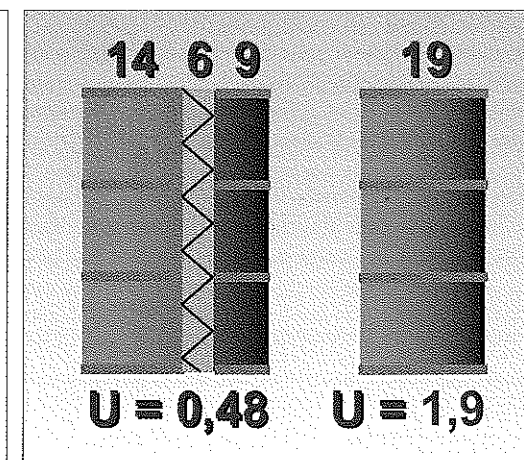
Parois vitrées

Le coefficient U d'une paroi vitrée est calculé de la manière suivante : prise en compte d'un coefficient U spécifique à la partie courante du remplissage, d'un coefficient Ψ concernant la jonction entre la menuiserie et l'élément de remplissage, et d'un coefficient U moyen pour la menuiserie.

Les coefficients R et U mesurent les caractéristiques thermiques d'une paroi.

R indique la propriété à s'opposer à la déperdition de chaleur et s'exprime en $m^2.K/W$.

U mesure son aptitude à laisser passer la chaleur. Il s'exprime en $W/m^2.K$.



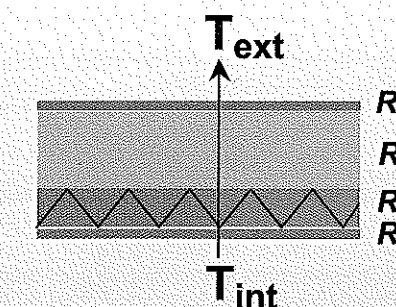
Coefficients U pour une paroi isolée (6 cm de laine minérale) et non isolée (brique 1200 kg/m^3).

1

Mur sans pont thermique

$$U_p = 1 / (R_{si} + \Sigma R + R_{se})$$

$$\text{avec } \Sigma R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

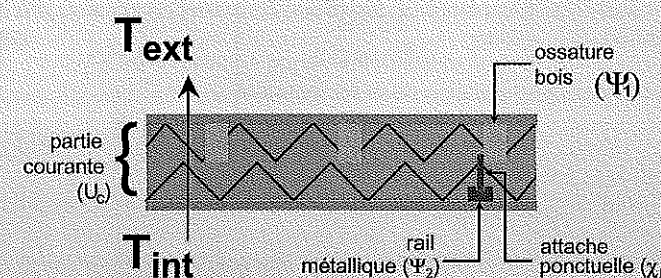


Mur avec pont thermique

$$U_p = U_c + \frac{(\Sigma_i \Psi_i \times L_i + \Sigma_j \chi_j)}{A}$$

avec A aire de la paroi (m^2)

$$U_c = 1 / (R_{si} + \Sigma R + R_{se})$$



2 Calcul de U pour cas courants.

CONSTRUIRE AVEC LE CLIMAT
Les outils architecturaux
L'orientation

L'orientation d'un édifice répond à sa destination : les besoins en lumière naturelle, l'intérêt d'utiliser le rayonnement solaire pour chauffer le bâtiment ou, au contraire, la nécessité de s'en protéger pour éviter la surchauffe, l'existence de vents pouvant refroidir le bâtiment en hiver ou le rafraîchir en été, sont autant de paramètres importants dans le choix de l'orientation.

Parfois agréable l'été, le vent est toujours source d'inconfort l'hiver. Par conséquent, protéger les façades des vents froids est toujours souhaitable, voire prioritaire, pour minimiser la consommation de chauffage.

Le soleil intervient pour dispenser lumière et chaleur. Une orientation adaptée aux contraintes du bâtiment permet ainsi de réduire les consommations de chauffage et d'éclairage. La figure 1 illustre ce dernier point en comparant les besoins annuels de chauffage d'une habitation selon l'orientation et la proportion de ses vitrages (rapport de la surface vitrée à la surface de la façade). On constate une sensible diminution des besoins de chauffage pour une orientation sud, alors qu'ils ne cessent d'augmenter pour une orientation nord. L'écartement progressif des courbes reflète le bilan thermique de la fenêtre : capteur de la chaleur au sud, elle devient surface déperditive au nord.

La figure 2 récapitule les règles de base qui régissent l'orientation des pièces. Une projection cylindrique de la course solaire à Paris permet de rapprocher orientation et hauteur solaire au fil des saisons. L'azimut est donné par les points cardinaux et la hauteur solaire est mesurée par les cercles concentriques. En regard des 8 orientations principales, un pourcentage indique la fraction du rayonnement solaire disponible par rapport au sud, considéré égale à 100 %.

Les pièces orientées au nord bénéficient toute l'année d'une lumière égale et du rayonnement solaire diffus. Pendant l'été, elle peuvent souffrir d'un rayonnement direct au petit matin et en soirée car le soleil est bas et ses rayons provoquent un éblouissement difficile à contrôler.

Les pièces orientées à l'est bénéficient du soleil le matin mais la lumière est difficile à maîtriser car les rayons sont bas sur l'horizon. L'exposition solaire y est faible en hiver mais, en été, elle est supérieure à l'orientation sud, ce qui est peu intéressant.

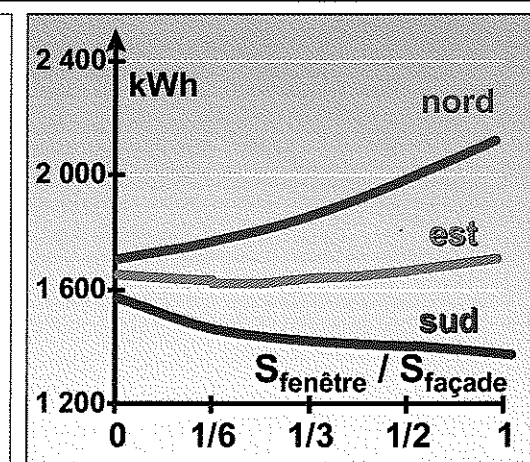
Les pièces orientées à l'ouest présentent des caractéristiques identiques : possibilité d'inconfort visuel par éblouissement et surexposition en été. De plus, en été, ces pièces étant exposées à un rayonnement solaire intense qui s'additionne aux températures déjà élevées en fin de journée, il devient difficile de contrôler les surchauffes.

Les pièces orientées au sud bénéficient d'une lumière plus facile à contrôler et d'un ensoleillement maximal en hiver et minimal en été. En effet, en hiver, le soleil bas ($\pm 17^\circ$) pénètre profondément dans la maison tandis qu'en été, la hauteur solaire est plus élevée ($\pm 60^\circ$) et la pénétration du soleil est donc moins profonde. Le sud est l'orientation qui permet le meilleur contrôle passif de l'ensoleillement. Les apports solaires sur une surface verticale (fenêtre) sont également nettement inférieurs au sud car ils sont diminués par un facteur égal au cosinus de l'angle d'incidence.

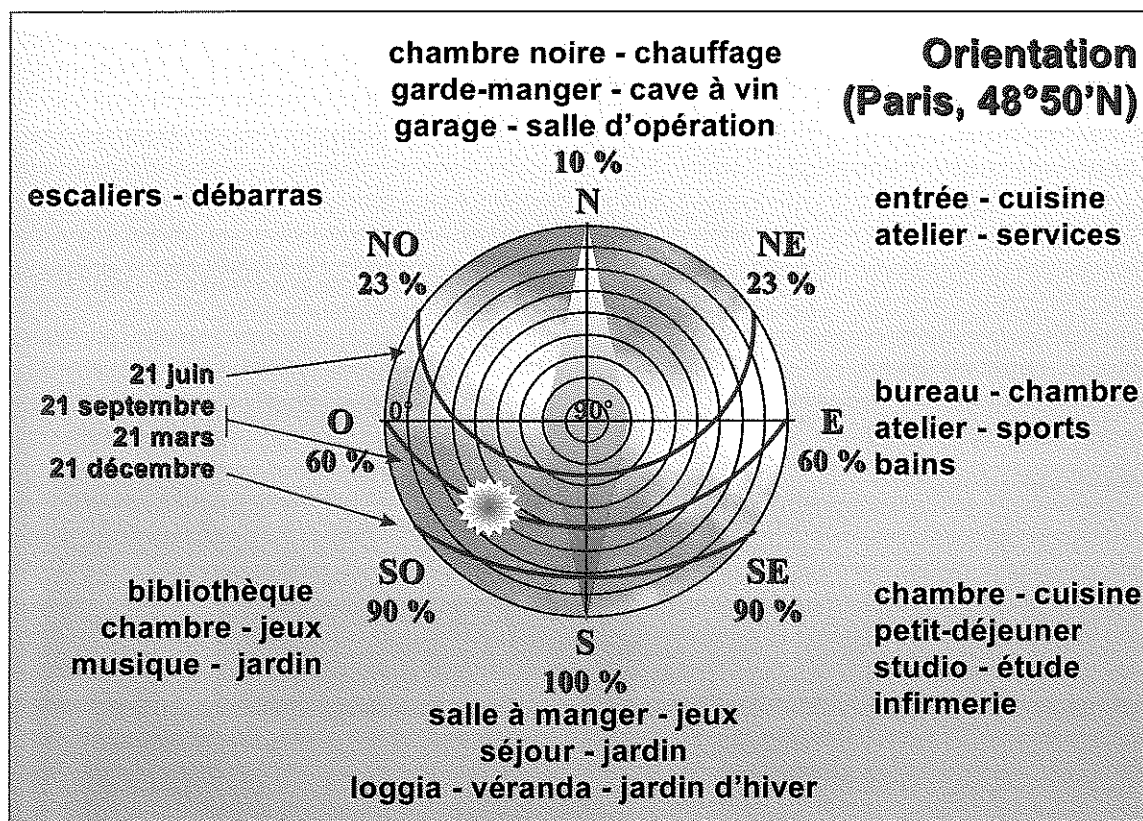
CONSTRUIRE AVEC LE CLIMAT
Les outils architecturaux
L'orientation

L'orientation de chaque pièce répond à son utilisation.

Le sud permet de tirer le meilleur parti de l'ensoleillement quand celui-ci est nécessaire à l'équilibre thermique du bâtiment.



Variation des besoins annuels de chauffage d'une habitation en fonction de l'orientation et de la proportion de surface vitrée.



2 L'orientation de l'édifice par rapport aux vents et au soleil.

CONSTRUIRE AVEC LE CLIMAT
La conception bioclimatique
Les apports internes

Le bilan énergétique d'un local fait intervenir des déperditions par les parois et par ventilation, et des apports de chaleur. Ces apports peuvent être externes (apports solaires) ou internes (sources de chaleur liées à l'environnement intérieur provenant des occupants, de l'éclairage, des appareils électriques ou de l'évaporation d'eau).

Il est assez rare que ces gains de chaleur internes soient simultanés ou atteignent au même moment leur maximum. Il s'agit donc d'une source de chaleur diffuse dans le bâtiment. Par contre, leur superposition à d'autres sources de chaleur (chauffage en service, rayonnement solaire direct) peut conduire à une élévation excessive de la température et à une situation d'inconfort.

- La présence humaine s'accompagne d'une production de chaleur et d'humidité. L'évacuation de cette chaleur se fait de manière continue, essentiellement par convection (35 %), rayonnement (35 %) et par évaporation (25 %), selon les conditions de température de l'air, d'humidité relative et l'activité de l'individu. La figure 1 représente l'évolution des températures dans une salle de classe sur une période de cours de 45 minutes. Le volume est chauffé à une température de base de 18 °C et l'éclairage constitue un apport interne supplémentaire constant. La hausse des températures jusqu'à 25 °C est due à la seule présence des écoliers.

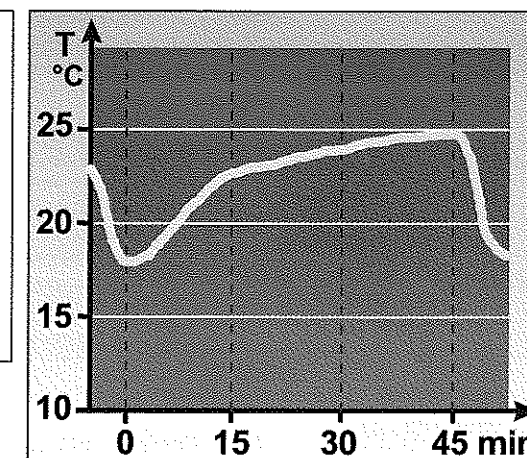
- Les machines électriques, en raison même de leur fonctionnement, émettent une certaine quantité de chaleur dans l'ambiance. Les machines de bureau dégagent l'équivalent calorifique de la puissance électrique moyenne absorbée et les moteurs électriques dégagent des quantités de chaleur qui dépendent de leur rendement propre de conversion d'énergie électrique en énergie mécanique. Les appareils à gaz génèrent de la chaleur et produisent de l'humidité.

- L'éclairage participe également au bilan général. On considère que toute l'énergie électrique consommée se transforme intégralement en chaleur, diffusée par convection avec l'air ambiant ou par rayonnement vers les parois et matériaux environnants. L'énergie rayonnée par un éclairage à incandescence correspond à 80 % de l'énergie transformée contre 50 % pour un éclairage fluorescent. Après un certain temps, les capacités de stockage de la chaleur sont saturées et la température du local augmente.

Les tableaux de la figure 2 rassemblent quelques données relatives à la production de chaleur et d'humidité des occupants et des équipements. Le tableau des activités humaines est exprimé en watt et en gramme d'eau par heure, pour chaque personne. Le tableau des équipements est exprimé en watt et en gramme d'eau par heure. Il convient de remarquer que les durées d'utilisation de ces équipements sont très variées. Le tableau relatif à l'éclairage reprend la charge d'éclairage moyenne en W/m² pour des lampes incandescentes et fluorescentes.

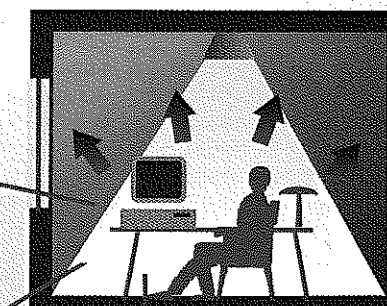
CONSTRUIRE AVEC LE CLIMAT
La conception bioclimatique
Les apports internes

Les sources de chaleur liées à l'environnement intérieur sont :
les occupants,
l'éclairage, les appareils électriques ou au gaz et l'évaporation de l'eau.



Evolution des températures due à la présence des occupants, dans une salle de classe.

Par personne :	W	g/h
assis au repos	114	37
debout au repos	128	46
assis, travail modéré	145	61
debout, travail léger	174	99
travail modéré	197	116
travail actif	232	141
travail intense	290	213
travail pénible	406	319



	W/m ²	
	inc.	fluo.
résidentiel	10	
écoles	25	12
bureaux	30	16

Estimation des apports internes

	W	g/h
four électrique	3 000	880
grille-pain	500	140
réfrigérateur	100	-
mach. à laver (5 kg)	6 000	4 320
fer à repasser	500	400
sèche-cheveux	500	230
ordinateur personnel	200	-
machine à écrire	100	-

2 Estimation des apports internes : chaleur métabolique et équipements.

Lorsque les rayons du soleil frappent une paroi opaque, une partie de l'énergie rayonnée est absorbée, le reste est réfléchi. Un flux de chaleur s'établit alors entre la face externe et la face interne de la paroi. La chaleur, qui se transmet par onde de l'extérieur à l'intérieur, se propage avec un certain déphasage et subit un amortissement. Le maximum de température atteint sur la face extérieure n'est pas immédiatement senti sur la face intérieure de la paroi. Le temps de déphasage est fonction de l'épaisseur ainsi que de la conductivité thermique des matériaux.

Le déphasage et l'amortissement constituent l'inertie thermique.

Les caractéristiques de l'inertie thermique peuvent être regroupées pour chaque matériau en deux grandeurs intermédiaires :

La diffusivité thermique "a" correspond à la vitesse d'avancement d'un front de chaleur à travers le matériau (unité : m²/h).

λ : conductivité thermique du matériau (W/m.K)
 ρ : masse volumique du matériau (kg/m³)
 c : chaleur massique du matériau (Wh/K.kg)

$$a = \frac{\lambda}{\rho \times c}$$

La diffusivité thermique exprime la capacité d'un matériau à transmettre une variation de température. Elle est directement proportionnelle à sa conductivité thermique et inversement proportionnelle à sa chaleur volumique.

L'effusivité thermique "b" représente la capacité d'un matériau à absorber un flux thermique instantané ((W/m².K)¹/²)

$$b = \sqrt{\lambda \times \rho \times c}$$

L'effusivité thermique exprime la capacité d'un matériau à absorber (ou à restituer) une puissance thermique.

Pour réduire l'amplitude d'un flux thermique, les parois de l'enveloppe doivent présenter une faible diffusivité et une forte effusivité. Cet objectif peut être atteint par un choix judicieux de matériaux en parois homogènes. L'emploi d'une paroi composite avec une faible diffusivité extérieure et une forte effusivité intérieure permet également de réduire l'amplitude du flux thermique.

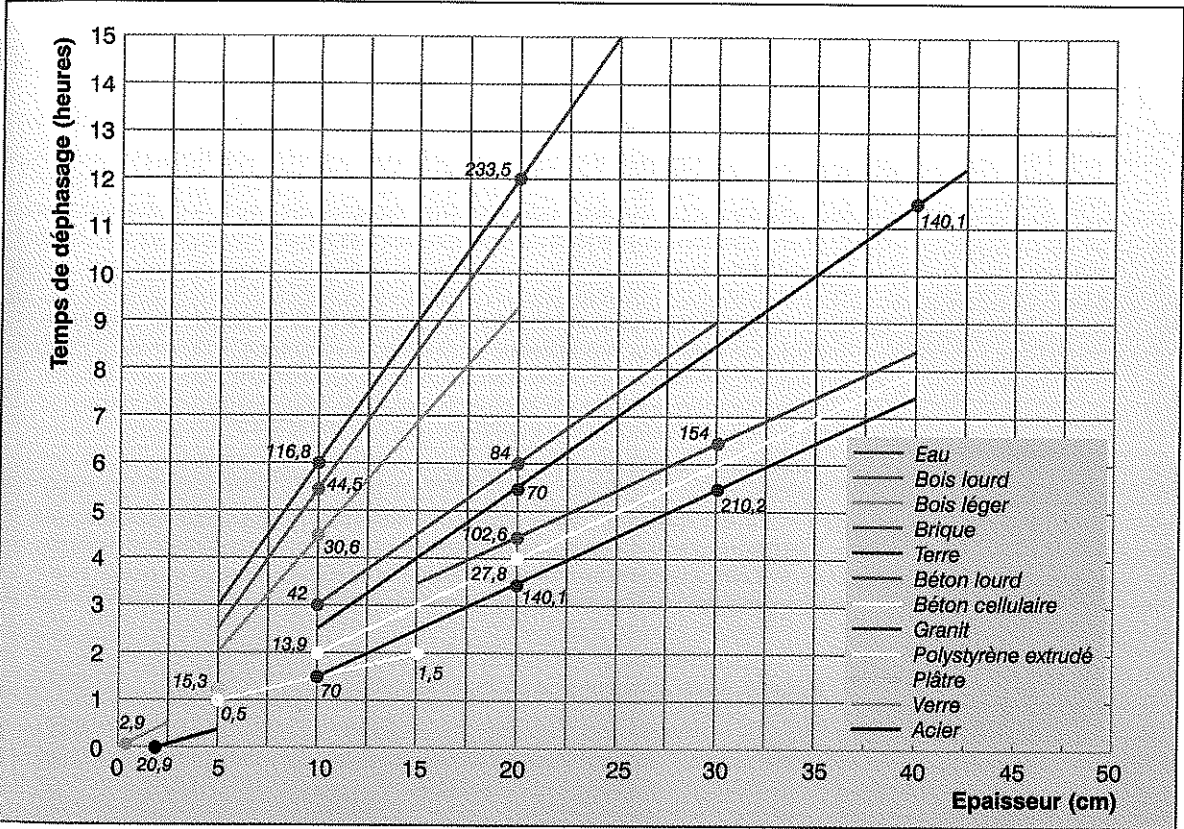
Les parois minces peuvent avoir des effets désastreux sur le confort. Très fines et non isolantes, leur réchauffement ou leur refroidissement est quasi instantané.

Le tableau indique la qualité de l'inertie thermique de quelques matériaux pour des épaisseurs usuelles d'utilisation. Ces résultats proviennent de simulations réalisées sous climat chaud pour une paroi de coefficient d'absorption de 0,7, orientée au sud.

L'inertie thermique
d'un matériau
mesure sa capacité
à accumuler de la
chaleur et à en
différer la restitution
après un certain
temps : c'est le
temps de déphasage.



Kasbah de Ouarzazate (Sud Maroc). 1



2 Temps de déphasage de divers matériaux de construction en fonction de leur épaisseur et quantité de chaleur accumulée pour des épaisseurs types, en Wh/m²K (d'après E. Gratia).

CONSTRUIRE EN CLIMAT CHAUD
L'insertion dans le site
Les obstacles aérauliques

Pour qu'il y ait ventilation effective, il faut que le vent puisse accéder aux abords immédiats des constructions sans être exagérément freiné par des obstacles. L'influence d'un obstacle peut se faire sentir jusqu'à une distance de 4 à 12 fois sa hauteur. Cette distance est fonction des caractéristiques géométriques des obstacles, de leur orientation par rapport au vent, de leur implantation et de leur porosité.

Juste derrière un obstacle se crée une zone tourbillonnaire. Le potentiel de ventilation d'une habitation placée dans une telle zone est fortement réduit car la façade exposée au vent n'est plus en surpression. Une certaine distance par rapport aux obstacles, permettant au vent de retrouver ses caractéristiques "laminaires", garantit une zone de ventilation favorable. Dans les régions chaudes et sèches, l'ombrage apporté par les obstacles prime sur la diminution du potentiel de ventilation.

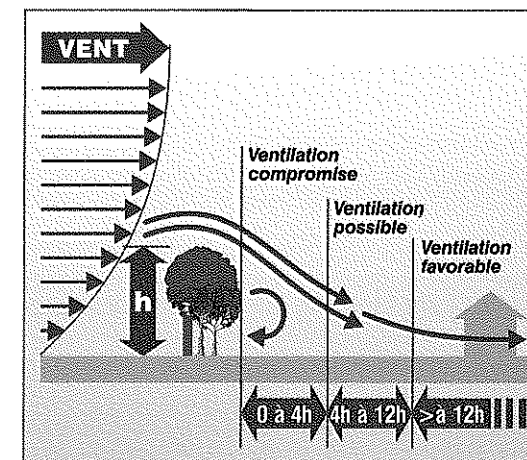
L'influence des obstacles aérauliques dépend de la combinaison des distances d'éloignement de ces masques en fonction de leur volume et de leur répartition spatiale. Plus les bâtiments sont courts et profonds, moins la distance d'éloignement à respecter entre eux doit être grande. Les obstacles aérauliques placés en hauteur laissent passer le vent en dessous d'eux. Ainsi, les arbres aux troncs élancés permettent le passage du vent à hauteur d'homme. On privilégie également les constructions sur pilotis et intégrant des écopes en toiture car elles affectent beaucoup moins la ventilation du plan de masse.

L'optimisation du plan de masse consiste à développer des mécanismes de brassage de l'air et à canaliser les écoulements aérauliques en tenant compte de la nature des régimes des vents.

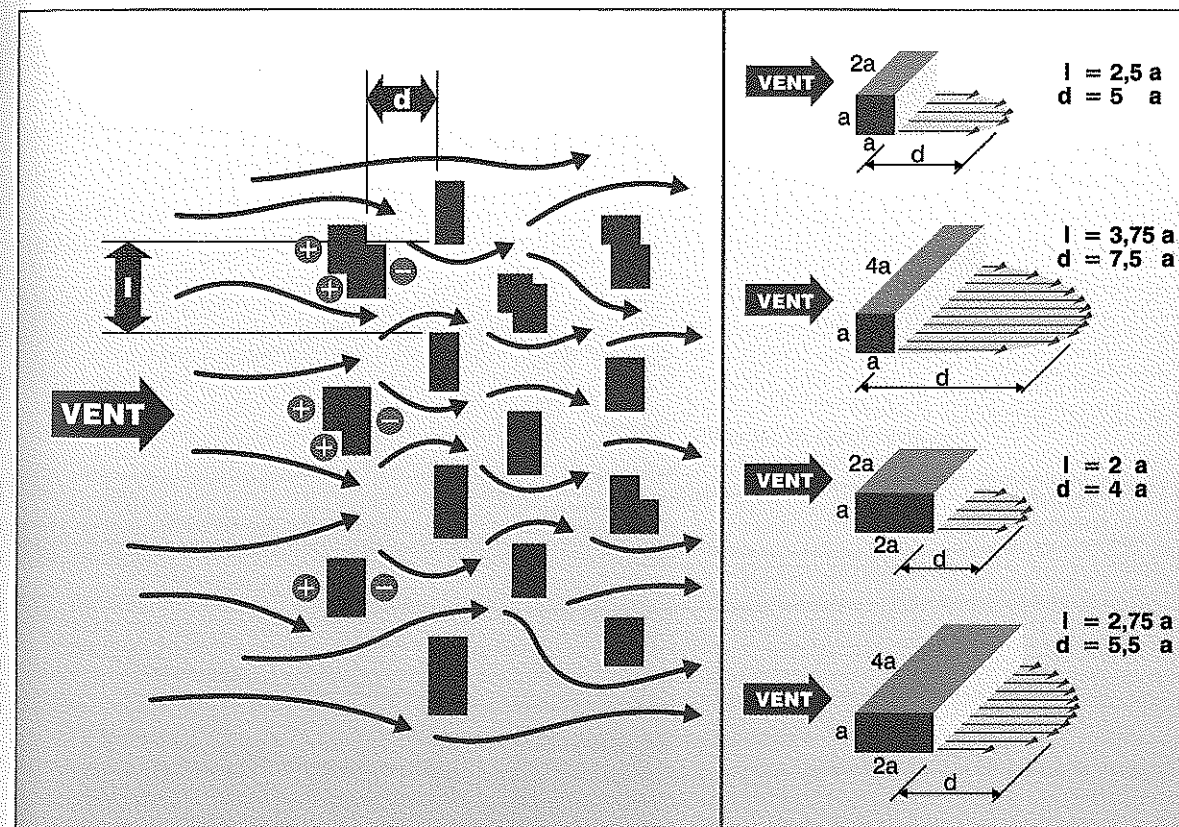
Dans un plan de masse constitué de rangées de bâtiments exposés aux vents, la première ligne exposée est toujours la mieux ventilée. Les espacements entre les constructions des rangées suivantes affectent les conditions de ventilation des maisons. Les interstices, les failles, les passages entre les obstacles tendent à réduire les mouvements tourbillonnaires responsables de la diminution du potentiel de ventilation. Un obstacle composé de petits plots bâtis d'une porosité frontale au vent de 66 % est une configuration qui permet une ventilation naturelle des bâtiments distants les uns des autres de moins de 4 fois leur hauteur. Une étude aérodynamique au cas par cas est nécessaire. De manière générale, un schéma en quinconce est préférable car il permet d'éviter les effets de masque du bâtiment placé en amont par rapport au vent.

CONSTRUIRE EN CLIMAT CHAUD
L'insertion dans le site
Les obstacles aérauliques

Les obstacles de proximité influent sur la ventilation des bâtiments. Les effets varient avec la distance, la situation, la hauteur, la porosité, et le volume des constructions.



Potential de ventilation d'un bâtiment en fonction de l'éloignement d'un obstacle aéraulique.



2 Distances à respecter pour permettre la ventilation naturelle d'un ensemble de bâtiments soumis au vent.

CONSTRUIRE EN CLIMAT CHAUD
Le traitement du bâtiment
Les auvents

Les auvents sont des protections solaires horizontales. A la différence des pare-soleil horizontaux, ils sont inclus dans la structure du bâtiment. Le pare-soleil peut être constitué de lamelles et participer à un filtrage du rayonnement ; l'auvent, quant à lui, est opaque. Le pare-soleil, étant amovible, présente le double avantage de pouvoir n'être utilisé qu'à certains moments et d'être mis à l'abri en cas de fortes tempêtes ou d'ouragan, aussi n'est-il pas utile de le dimensionner pour résister à de telles agressions naturelles.

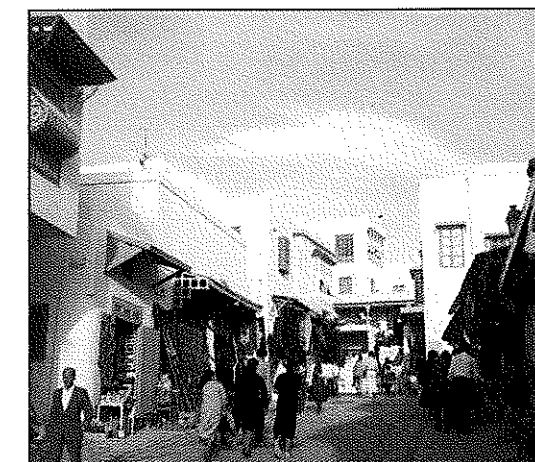
Le dimensionnement de l'auvent s'effectue de la même manière que celui des pare-soleil décrit dans la fiche correspondante. Le schéma de la fiche ci-jointe illustre le calcul des caractéristiques géométriques d'un auvent, dans le cas d'une façade verticale, en fonction de la hauteur (α) et de l'azimut (γ) du soleil, ainsi que de l'orientation de la façade (β).

De manière générale, les pare-soleil et les auvents peuvent remplir plusieurs fonctions : protéger les parois et les ouvertures des rayonnements solaires directs, mais également protéger de la pluie, des regards et, éventuellement, du bruit des voisins et des agressions. Les auvents doivent admettre une résistance aux intempéries, comme les tempêtes ou ouragans. Il faut également prendre en considération leur impact sur l'esthétique, sur l'animation de la façade et sur l'apport de lumière au travers des ouvertures.

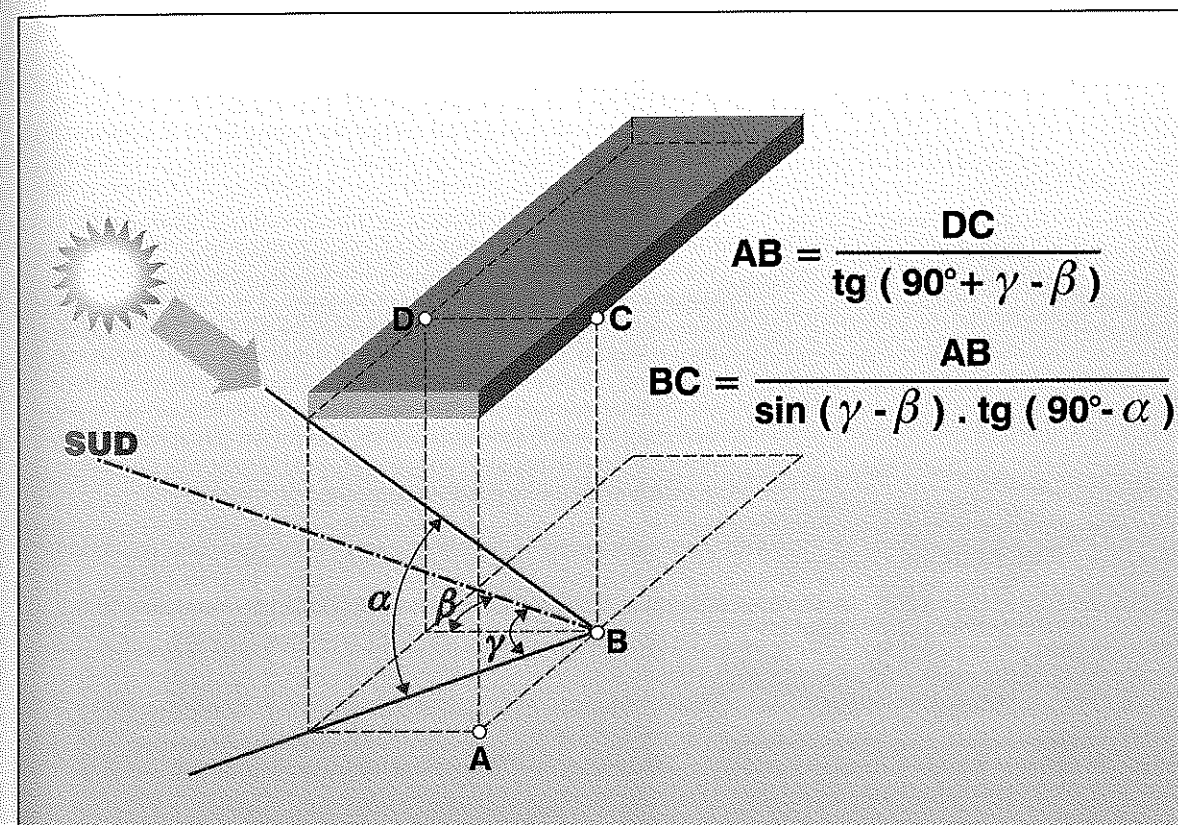
La protection solaire des ouvertures extérieures ne doit pas tenir compte du rayonnement solaire direct exclusivement, mais aussi des apports liés aux réflexions et du rayonnement solaire diffus. La protection des ouvertures sur l'extérieur d'un habitat est à considérer par rapport au rayonnement solaire global : direct + diffus + réfléchi.

CONSTRUIRE EN CLIMAT CHAUD
Le traitement du bâtiment
Les auvents

Les auvents protègent
les parois verticales,
leur détermination
géométrique est
le résultat d'un double
calcul lié à la
profondeur et à
la surlargeur.



Auvents de Sidi Bou Saïd (Tunisie). 1



2 Calcul des caractéristiques géométriques d'un auvent dans le cas d'une façade verticale.

CONSTRUIRE AVEC LE DÉVELOPPEMENT DURABLE

Construction verte

Gestion des avantages et des contraintes de la parcelle

La gestion des avantages et contraintes de la parcelle passe par une connaissance approfondie du site et de son environnement local, régional et global. Ainsi, les études préalables sont essentielles. Elles permettent d'établir un diagnostic environnemental exhaustif qui comprend la collecte des informations suivantes :

- caractéristiques physiques générales :
 - informations géographiques (latitude, longitude, altitude, orientation...);
 - informations climatiques et micro-climatiques (ensoleillement, températures, humidité, pluviométrie, vitesses et directions des vents...);
 - informations urbaines (transports publics, places de stationnement, bruits et autres nuisances urbaines, modes de collecte des déchets ménagers, sources d'énergies disponibles...);
 - informations paysagères (végétation, faune et flore...).
- qualité du sol et du sous-sol :
 - informations géologiques et pédologiques;
 - informations hydrologiques (position et hauteur de la nappe phréatique, nature et perméabilité des sols, écoulements de surface...);
 - informations bio-chimiques visant à détecter des pollutions éventuelles des eaux ou des sols (radon, métaux lourds...).
- qualité de l'air :
 - informations fournies par les mesures de qualité de l'air (SO_2 , NO_x , poussières...);
 - informations sur les installations polluantes proches (industries, voies urbaines...).
- qualité de l'eau :
 - informations physico-chimiques et bactériologiques sur l'eau potable;
 - informations sur le mode de traitement des eaux usées et des eaux pluviales.

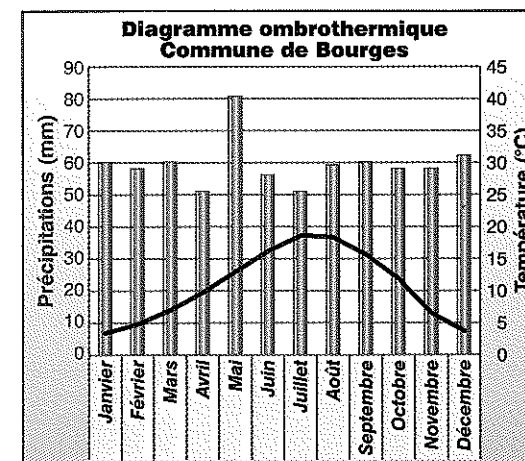
L'ensemble de ces informations aide l'architecte à orienter ses choix conceptuels pour tirer avantage des intérêts de l'environnement, et prendre les mesures compensatoires nécessaires pour prémunir les futurs occupants de tous les risques environnementaux. Le renforcement des études préalables permet au secteur du bâtiment d'élargir à tous les types de projets le champ d'application de la directive européenne 97/11/CE du 3 mars 1997 relative à l'évaluation des incidences de certains projets publics et privés sur l'environnement.

CONSTRUIRE AVEC LE DÉVELOPPEMENT DURABLE

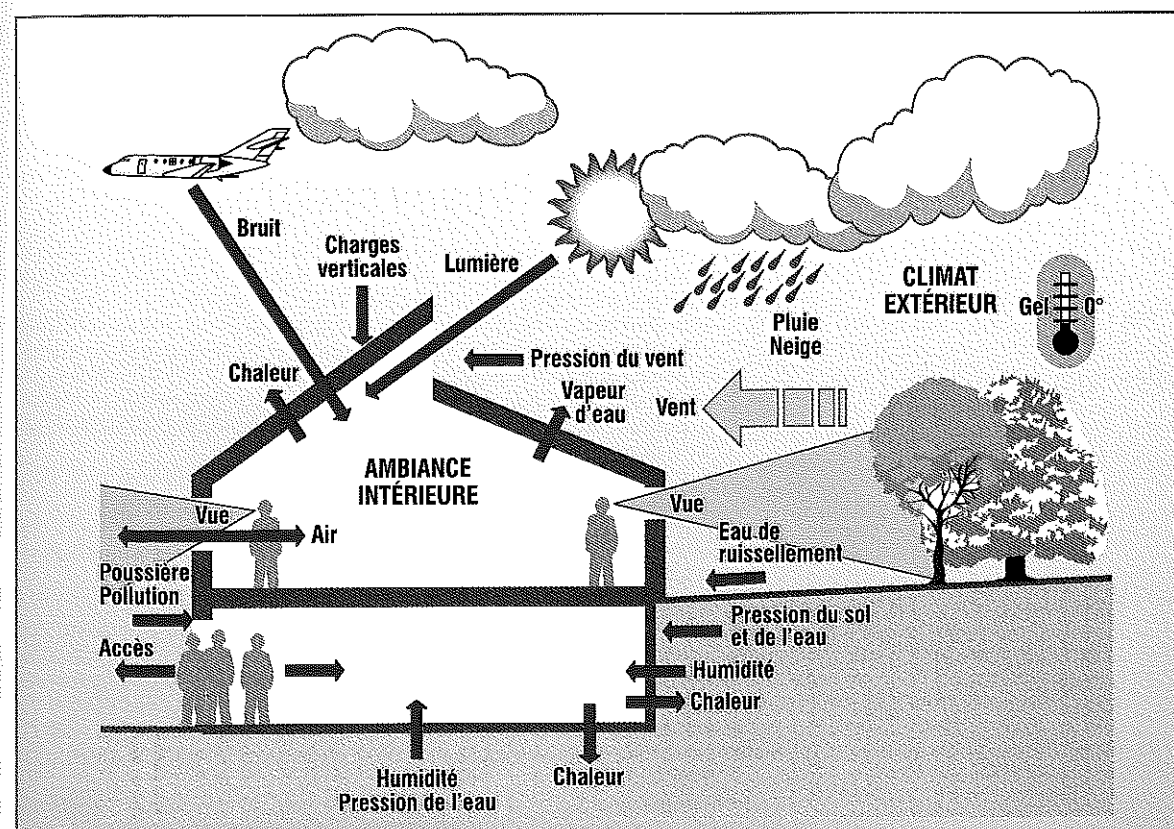
Construction verte

Gestion des avantages et des contraintes de la parcelle

Une parfaite connaissance du site, de ses avantages et contraintes, permet d'intégrer dès les premières esquisses les conditions d'ensoleillement, le vent, le relief du terrain, la végétation environnante, la qualité du sol et du sous-sol, etc.



Exemples de données à collecter ¹
(Météofrance).



2 Les sollicitations de l'enveloppe (d'après F. Simon).

CONSTRUIRE AVEC L'ÉCLAIRAGE NATUREL ET ARTIFICIEL
 Ce qui influence l'éclairage naturel

Le site : masques proches

Ces masques proches, qui font partie intégrante du bâtiment, sont en général intégrés à celui-ci pour lutter contre les problèmes de surchauffe et d'éblouissement. Ils appartiennent donc à la grande famille des protections solaires.

La mise en place d'auvents ou de surplombs fixes destinés à réduire les problèmes d'éblouissement et de surchauffe pénalisera bien sûr la quantité de lumière captée par le bâtiment. En général, il est souhaitable, pour le nord de la France, par exemple, que les angles d'obstruction ne dépassent pas 45° pour l'angle horizontal et 25° pour l'angle vertical.

Le grand avantage de ce type de protection solaire est que, par ciel serein, elles protègent principalement des rayons directs du soleil, qui sont toujours les plus critiques, alors que le rayonnement diffus n'en est que très peu affecté. Cependant, une protection fixe efficace en été réduit l'éclairage naturel par ciel couvert. Rappelons que sous les latitudes du nord de la France, la probabilité d'ensoleillement est inférieure à 20 % en hiver et à 50 % en été.

Le pourcentage d'ombrage de la fenêtre par un élément fixe dépend :

- de la position de la protection par rapport à la fenêtre ;
- de la hauteur du soleil ;
- du rapport entre les dimensions de la protection et la hauteur ou la longueur de la fenêtre.

Les façades d'orientation proche du sud sont les plus faciles à protéger par cette technique. Une protection fixe est à même d'éliminer complètement le rayonnement direct estival sur une ouverture orientée au sud, mais ne peut pas supprimer les risques d'éblouissement dus à un soleil bas en hiver. En revanche, aucune protection fixe, horizontale ou verticale, ne permet de résoudre le problème propre aux façades est et ouest.

Dimensionnement d'un auvent

Il existe plusieurs méthodes permettant le dimensionnement d'un auvent. Elles peuvent être manuelles ou informatisées. La difficulté réside dans le choix des critères à appliquer. La figure 2a montre comment dimensionner un auvent pour que son ombrage soit maximal à un moment de l'année, et minimal à un autre moment (par exemple, respectivement aux solstices d'été et d'hiver). Les calculs sont basés sur la hauteur du soleil à ces moment-là (respectivement h_1 et h_2).

Comme pour les masques lointains, on peut tracer des courbes, appelées dans ce cas-ci, indicateurs d'occultation, qui permettent d'étudier les protections solaires associées à un auvent. En superposant cet indicateur au diagramme solaire du site étudié, on détermine avec précision les heures et les jours pendant lesquels la paroi ne reçoit pas de rayonnement solaire direct. L'indicateur d'occultation permet d'établir une description géométrique simple des avancées architecturales ; il est indépendant de la latitude du site, de l'orientation de la baie et de l'heure de la journée. Le profil d'ombre établi pour une protection solaire déterminée pourra donc servir sur n'importe quel diagramme solaire, c'est-à-dire sous toute latitude.

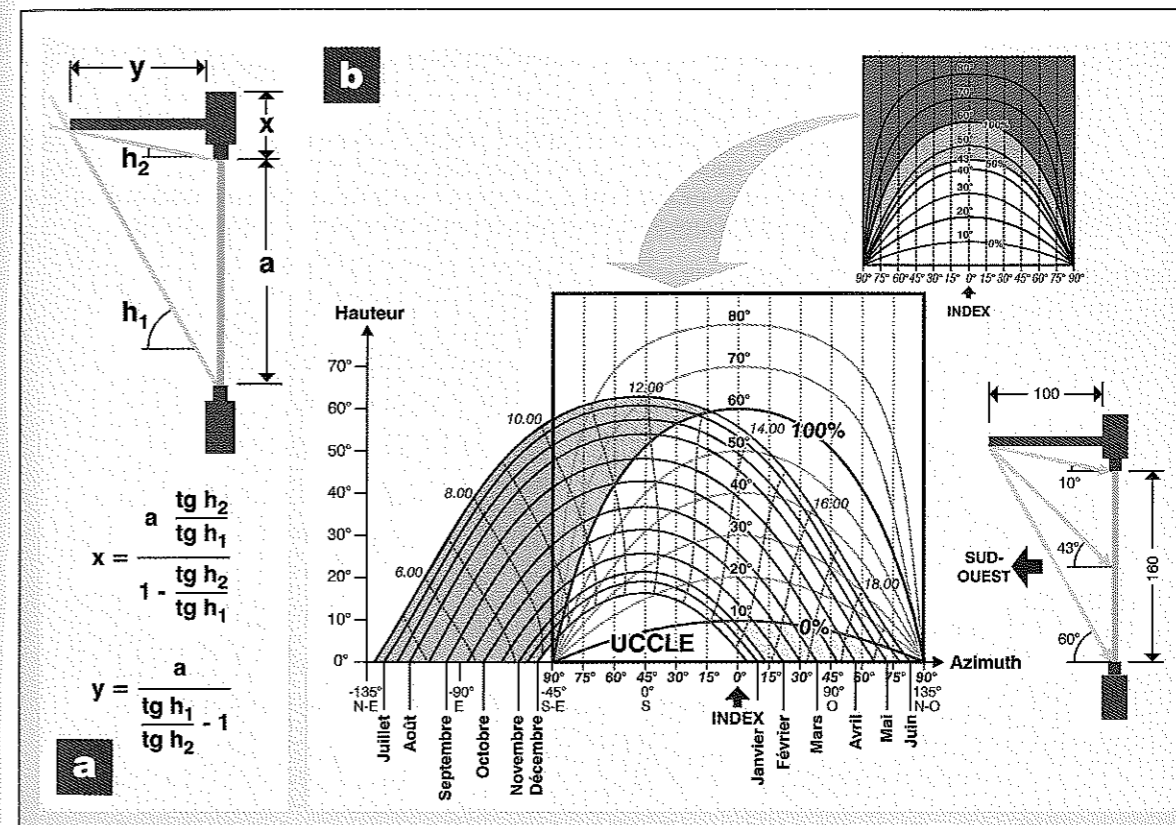
 CONSTRUIRE AVEC L'ÉCLAIRAGE NATUREL ET ARTIFICIEL
 Ce qui influence l'éclairage naturel

Le site : masques proches

Des éléments architecturaux liés au bâtiment lui-même, tels que des murs de refends, des surplombs, des light-shelves... peuvent provoquer un ombrage qui dépend de leur taille, de leur réflectivité et de leur orientation. On les appelle les masques proches.



Les masques proches. 1



2 a : Dimensionnement d'un auvent.

b : Étude des protections solaires associées à un auvent par la méthode des indicateurs d'occultation.

Le "renouvellement urbain" fait partie des politiques récentes visant à reconstruire la ville sur la ville qui s'inscrivent dans une problématique phare du développement durable urbain : l'étalement. Ce que la mobilité croissante a permis est globalement néfaste à l'environnement, à cause des rejets produits par les moyens de transports mais aussi en terme de déperditions de chauffage, du coût des services (éclairage public, ramassage des déchets, réseaux de flux), de disparition de surfaces de territoire rural et de consommation de surfaces artificielles (modification des nappes phréatiques).

La Commission européenne, depuis la publication de son livre vert sur l'environnement urbain (1990), prône "la ville compacte", concept qui repose sur : la densification du bâti, en comblant les espaces interstitiels et en réutilisant les friches urbaines, et la limitation de l'éparpillement résidentiel, par la maîtrise foncière des terrains, le contrôle de l'usage des sols ; mais aussi la densification des réseaux de transport en commun et le renforcement de l'urbanisation autour des points de forte accessibilité, pour localiser les activités économiques et l'habitat à proximité des voies de communication et des réseaux de transport en commun¹.

Enfin, elle défend la mixité fonctionnelle et sociale dans les usages du sol, pour réduire les besoins de déplacements et la ségrégation sociale ; et la reconquête des espaces publics, dont les espaces verts. En effet, un des leviers principaux agissant pour la densité urbaine serait de retrouver l'envie d'habiter en ville, ce qui est bien la difficulté majeure, dans le cadre actuel des aspirations de la majorité des habitants, qui vont vers le "pavillon" isolé.

Le débat est important car de nombreux urbanistes ne croient pas que le retour à des villes denses, de taille moyenne et entourées de campagne soit réaliste. Par contre, un consensus apparaît autour de formes de "décentralisation concentrée", des modèles de polycentrisme avec renforcement de l'effet urbain, incluant de vastes zones vertes dans les aires métropolitaines : *green belts* anglais, *Randstad* aux Pays-Bas, ou les structures en "doigts de gants" le long de grands axes urbains scandinaves.

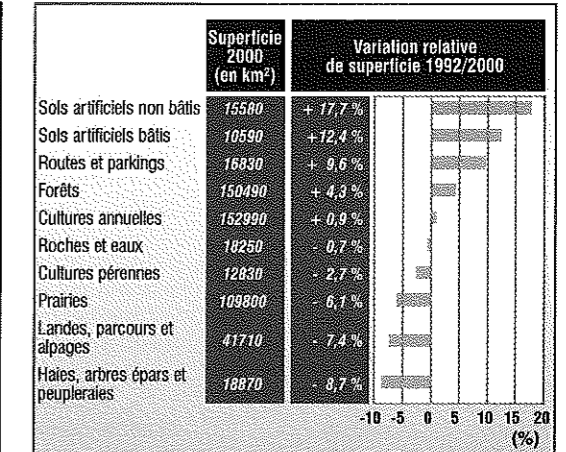
En France, la loi Solidarité et renouvellement urbain (SRU, 2000) instaure ces préoccupations dans un nouveau des procédures : les Plans locaux d'urbanisme (PLU), qui remplacent les Plans d'occupation des sols (POS) sont des documents stratégiques et opérationnels - qui privilégient la prise en compte globale des enjeux et qui s'orientent vers le projet urbain - par rapport à une vision uniquement réglementaire. Ils visent aussi à une meilleure lisibilité par les citoyens, afin de faciliter la concertation à laquelle ils doivent être soumis.

En outre, la loi impose d'associer aux PLU un "Projet d'aménagement et de développement durable" (PADD), cadre de cohérence pour toutes les actions d'aménagement engagées par la commune. Ces plans doivent prévoir l'équilibre entre le renouvellement urbain, un développement urbain maîtrisé et celui de l'espace rural, et d'autre part, la préservation des espaces d'activités agricoles et forestières, la protection des paysages et des espaces naturels. Ils doivent également organiser la diversité des fonctions urbaines, la mixité sociale, les besoins en déplacements, etc., dans le but de préserver la qualité de l'air, de l'eau, du sol, du sous-sol, des écosystèmes².

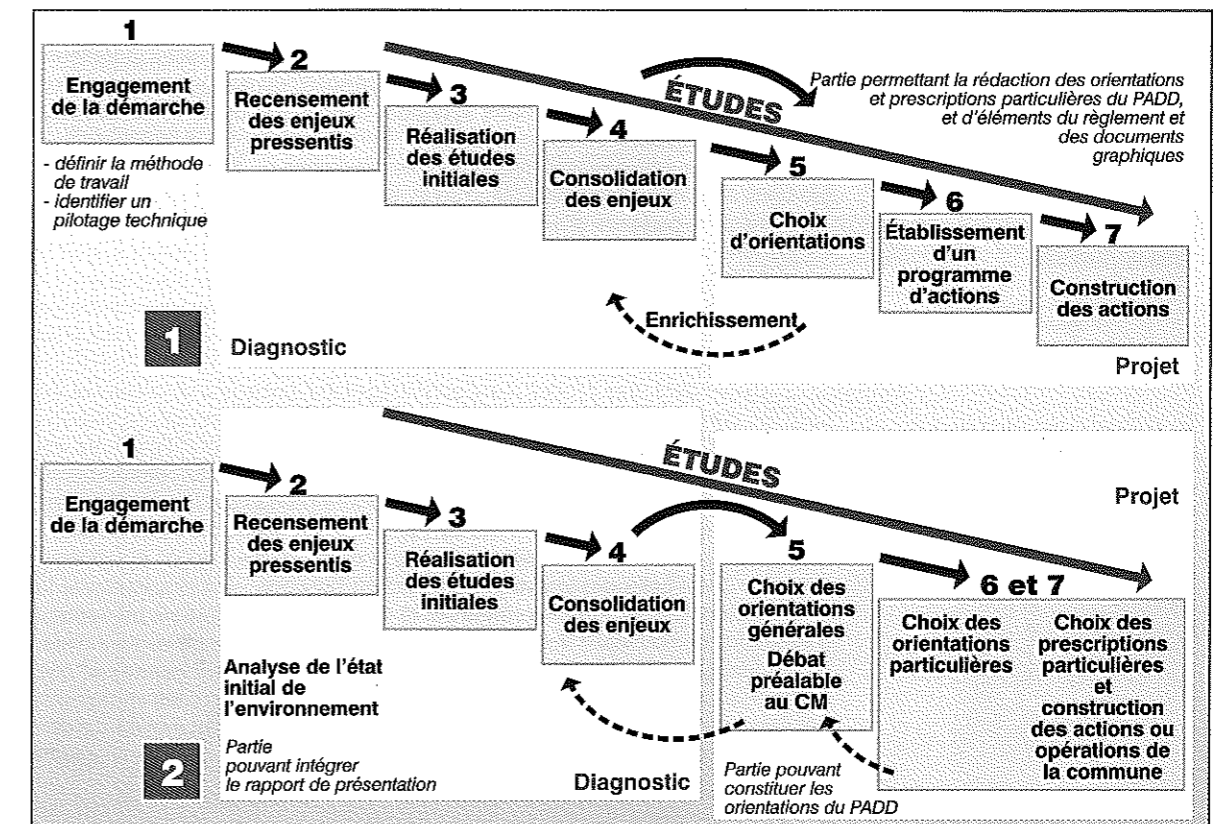
¹ Cf. dossier documentaire de 20 fiches réalisées pour le Sommet de Johannesburg 2002 par le ministère de l'Écologie et du Développement durable.

² CERTU, *Le projet d'aménagement et de développement durable du PLU*, référence n° 24, DGUHC - ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, avril 2002.

Le "renouvellement urbain" est une politique récente qui vise à reconstruire "la ville sur la ville" et qui s'inscrit dans un mouvement européen pour "la ville compacte". En France, les lois SRU renouvellent les procédures dans un sens plus stratégique et moins réglementaire.



"L'artificialisation" des sols en France métropolitaine
 (source : www.ifen.fr/chiffr/territoire.pdf).



2 Le renouvellement urbain s'inscrit dans de nouvelles démarches de projet (source : ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement). 1. Une démarche de projet structurée. 2. Une démarche adaptée au Plan Local d'Urbanisme (PLU).

Sous la coordination du Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB), le projet de recherche et de démonstration dénommé "HQE²R", pour "Haute Qualité Environnementale et Économique dans la Réhabilitation des bâtiments et le Renouvellement des quartiers", a réuni, entre 2001 et 2004, dix organismes ou centres de recherche et treize villes partenaires de sept pays européens : l'Allemagne, le Danemark, l'Espagne, la France, l'Italie, les Pays-Bas et le Royaume-Uni. Ce projet a été co-financé par la Commission européenne dans le cadre du 5^e programme cadre de Recherche et de Développement - Action clé 4 "Ville de demain et héritage culturel". Le partenariat de recherche du projet HQE²R se compose des personnes et organismes suivants : Catherine Charlot-Valdieu (CSTB), Philippe Outrequin (La Calade), Martin Symes, Celia Robbins et Marcus Grant (UWE), Ove Morck (Cenergia), Antonella Grossi et Sandra Mattarozzi (ICIE), Andreas Blum (IOER), Xavier Casanovas et Oriol Cusido (CAATB), Noemi Granado (ITEC), Daniela Gabutti et Nicoletta Ancona (QUASCO), Jan Zieck (Ambit).

Le projet HQE²R s'est fixé comme objectifs de proposer des outils, des méthodes et des guides de recommandations ou de bonnes pratiques pour les opérations d'aménagement ou de renouvellement urbain.

Quatorze quartiers de sept pays européens différents ont servi de cas d'étude pour jeter les bases d'une nouvelle démarche de développement durable à l'échelle des quartiers. Les quartiers d'Angers, d'Anzin, de Cannes, d'Échirolles, de Barcelone, de Manresa, de Cinisello Balsamo, de Mantova, de Melegano, de Vlissingen, de Dresden, de Frederiksberg et de Bristol ont ainsi participé à ce travail.

Six principes ont été définis comme cadre conceptuel par les partenaires pour préciser leur vision d'un "développement urbain durable" :

- efficacité économique incluant les coûts généralement externalisés ;
- équité sociale ;
- efficacité environnementale mettant en valeur les principes de précaution et de responsabilité ;
- principe de long terme conduisant à évaluer l'impact des décisions sur le long terme tout en assurant la réversibilité des choix ;
- principe de globalité - subsidiarité ;
- principe de gouvernance renforçant la participation des habitants et des usagers.

Ces principes ont été extraits des 28 principes retenus lors de la Conférence des Nations unies de Rio de Janeiro en 1992.

Selon la démarche HQE²R, quatre phases trament la conduite d'un projet de renouvellement urbain :

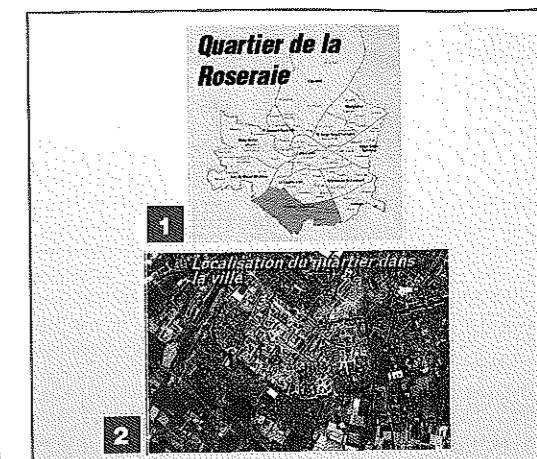
- la vision : identification des problèmes et décision d'agir sur le long terme ;
- l'analyse : réaliser un diagnostic complet et partagé du quartier permettant de faire ressortir les points forts ou faibles et de hiérarchiser les priorités de développement ;
- la conception : définition d'un programme d'actions ;
- la réalisation : mettre en œuvre, suivre et évaluer le plan d'actions.

Les 21 cibles sont regroupées sous 5 objectifs structurants :

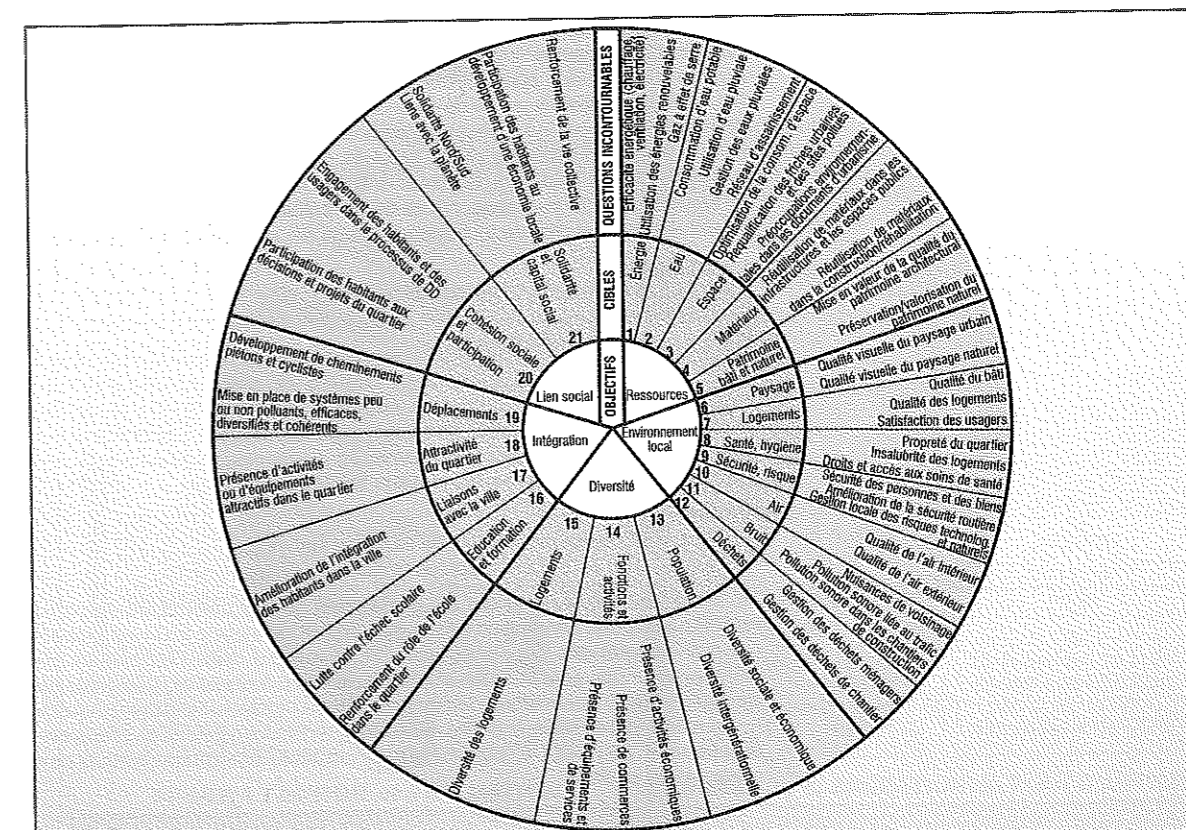
- préserver et valoriser l'héritage et conserver les ressources ;
- améliorer la qualité de l'environnement ;
- améliorer la diversité ;
- améliorer l'intégration ;
- renforcer le lien social.

Chaque cible est ensuite déclinée en plusieurs sous-cibles et indicateurs. Au total, 61 indicateurs permettent aux collectivités, urbanistes ou aménageurs d'engager le suivi opérationnel de ces cibles et objectifs.

La démarche HQE²R :
4 phases, 5 objectifs,
21 cibles, 51 sous-cibles
et 61 indicateurs pour
traduire 6 principes de
développement durable
dans le cadre d'opérations
de renouvellement urbain.



1. Un des 14 quartiers du projet HQE²R : la Roseraie à Angers.
2. Localisation du quartier de la Roseraie dans la ville.



2 Le cercle HQE²R du développement durable urbain (sur un concept original de David Mowat, résident de "Community at Heart" - Bristol, Royaume-Uni).

À l'image du Système de Management Environnemental décliné dans le cadre des opérations HQE[®] de construction ou de réhabilitation, la démarche HQE²R s'appuie sur le cadre offert par les normes ISO 14001 et 14004.

Selon les partenaires du projet HQE²R, quatre phases trament la conduite d'un projet d'aménagement ou de renouvellement urbain :

- **La vision :**
 - perception des problèmes ;
 - émergence des projets conduisant à la décision d'agir.

Il s'agit principalement au cours de cette étape d'affiner la politique environnementale du maître d'ouvrage sur base éventuellement d'un Agenda 21 local ou tout au moins du Projet d'aménagement et de développement durable développé en France dans le cadre du Plan local d'urbanisme faisant office de réglementation urbanistique locale.

- **L'analyse :**
 - analyse, à partir d'un état des lieux, des points forts et des points faibles ;
 - élaboration d'un diagnostic partagé de développement durable ;
 - définition des enjeux et des priorités de développement.

Le diagnostic partagé de développement durable fonde le point de départ de la démarche HQE²R. "Il doit amener le maître d'ouvrage à définir des priorités et des objectifs locaux de développement durable pour le projet d'aménagement ou de renouvellement urbain, à l'issue d'une phase de concertation et d'analyse". Ce travail s'appuie sur les 21 cibles et le système de 61 indicateurs développés de manière générale dans le cadre du projet de recherches. Le système ISDIS "Issues and Sustainable Development Indicators System" est exploité à cette étape pour délivrer un état des lieux le plus objectif possible. Pour élargir la lecture issue de ce diagnostic et adapter la méthode au contexte d'opération, il s'avère indispensable d'organiser les échanges entre les habitants ou les usagers du quartier et les services de la collectivité publique. Pour Catherine Charlot-Valdieu du Centre scientifique technique du bâtiment (CSTB), l'organisation de la participation lors de la réalisation du diagnostic partagé constitue l'une des clés de toute démarche de développement durable.

- **La conception :**
 - recherche et analyse de solutions ;
 - définition d'une stratégie, d'un plan ou d'un programme d'actions.

Le plan d'actions d'un projet urbain d'aménagement ou de renouvellement urbain traduit les priorités à développer en matière de développement urbain. Programme général de l'opération urbaine, il doit préciser les modalités fonctionnelles de transformation du quartier et de foncier, de procédures à suivre (notamment de participation), les mesures d'accompagnement social, de communication, d'urbanisme, les moyens financiers à dégager...

- **La réalisation :**
 - mise en œuvre du projet et de sa vie en œuvre ;
 - évaluation en continu du projet et de son développement.

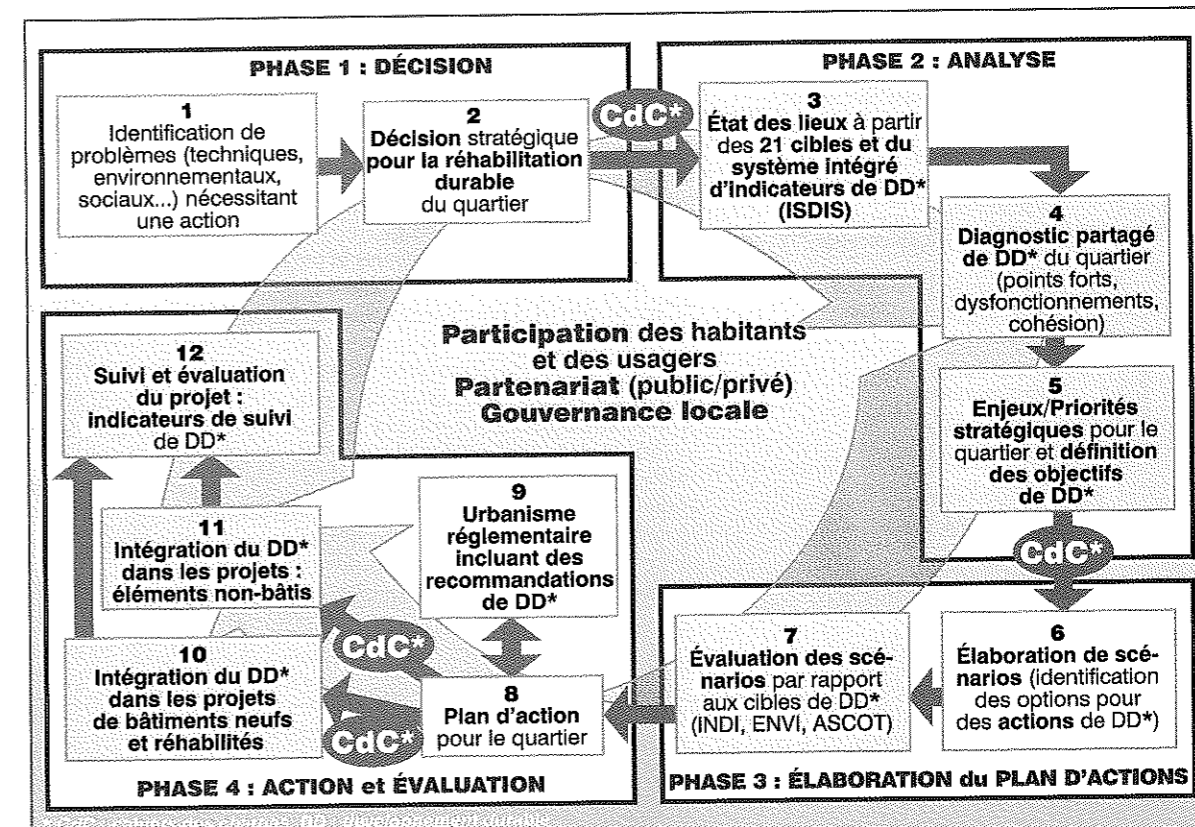
Trois modèles d'évaluation ont été développés par les partenaires du projet HQE²R pour opérer l'évaluation des projets urbains : le modèle ENVI sur l'impact environnemental des projets ou scénarii, le modèle INDI d'indicateurs de développement durable pour l'évaluation et le choix des projets, le modèle de simulation ASCOT permettant de comparer en coût global un bâtiment durable avec un bâtiment de référence. Ces outils répondent aux exigences de la directive européenne 2001/42/CE portant sur l'évaluation environnementale des programmes et plans.

1 Catherine Charlot-Valdieu, "Présentation de la démarche HQE²R et de ses principaux outils", conférence européenne "Aménagement et renouvellement urbain durable" de Cannes des 2 et 3 février 2004.

La démarche HQE²R propose de développer le management environnemental des opérations de construction ou de réhabilitation de bâtiments à l'échelle des quartiers.

Éléments du quartier	Structure	Usage
Espace résidentiel	Parcs de logements, volume et qualité des bâtiments...	Résidents et usagers : distribution de la population selon l'âge, le statut, la profession, la consommation d'énergie...
Espace non résidentiel	Parcs de bâtiments, volume et qualité des bâtiments...	Types d'usagers venant ou non du quartier...
Espace non bâti	Espaces verts, superficies et qualité...	Utilisation des espaces verts, propreté et sécurité...
Infrastructures	Longueur et qualité des routes, réseaux viaires, qualité et offre de transport public...	Mobilité des habitants, distribution intermodale, flux de consommation d'énergie, d'eau...

Les éléments ou champs d'analyse d'un quartier (source : projet HQE²R, <http://www.hqe2r.cstb.fr>).



2 La démarche HQE²R d'intégration du développement durable dans les projets urbains (source : projet HQE²R, <http://hqe2r.cstb.fr>).

Différents éléments influencent l'écoulement du vent au niveau microclimatique : la localisation, la rugosité du terrain, la hauteur d'évaluation, la topographie et l'aménagement du site (bâtiments, arbres...). Les villes constituent des surfaces de forte rugosité, ce qui réduit globalement la vitesse du vent et augmente sa turbulence.

Pour le confort des piétons, les vitesses de vent devraient être inférieures ou égales à 5 m/s dans les espaces publics. Les tissus denses de hauteur homogène relativement faible, tels que les centres des villes traditionnelles, assurent globalement un excellent confort au vent. Les quelques accidents aérodynamiques à craindre se situent à la périphérie et dans les zones très dégagées. Cependant, les villes contemporaines présentent des constructions très élevées qui entraînent des rafales de vent inacceptables pour le confort des piétons. Il est indispensable d'étudier l'impact du vent au niveau du sol pour les bâtiments dont la hauteur est supérieure ou égale à 40 m mais il est prudent d'étudier cet aspect dès qu'un bâtiment de 15 à 40 m de haut présente une hauteur au moins égale au double de la hauteur moyenne de son environnement bâti.

Les principaux mécanismes critiques du vent sont représentés sur la figure 2. En milieu urbain, ces effets apparaissent à la base des bâtiments dont la hauteur est nettement plus élevée que le plan masse moyen et au pied des ensembles de tours. Les dispositifs de correction (brise-vents...) sont toujours moins efficaces qu'une conception appropriée du bâtiment. Voici quelques règles de bonne pratique qui permettent d'atténuer ces risques :

- réduire la hauteur du bâtiment, ce qui est toujours la meilleure solution ;
- créer des décrochements progressifs à partir du cinquième étage ;
- augmenter la porosité du bâtiment ;
- ceinturer le bâtiment élevé par des constructions plus basses ;
- densifier l'environnement ;
- prévoir des éléments poreux (végétation...) près des coins ou des passages sous le bâtiment ;
- augmenter la rugosité des façades par des balcons (>1.5 m de large).

Les rues de nos urbanisations sont polluées au niveau du sol par les véhicules à moteur et à hauteur des toits par les cheminées. Pour assurer le confort respiratoire dans les rues, il est important de profiter de la capacité du vent à disperser les polluants, ce qui nécessite une vitesse de vent d'au moins 2 m/s au niveau des toits. Il faut également dimensionner des hauteurs de cheminées suffisamment hautes pour que le vent ne redirige pas la pollution générée en toiture vers le sol. Au niveau de la planification urbaine, les industries polluantes seront placées sous le vent de la ville par rapport aux vents dominants.

Pour assurer le confort thermique des piétons et limiter les consommations d'énergie des bâtiments, il est nécessaire de protéger les espaces publics des vents froids et dominants, tout en favorisant la pénétration des brises estivales.

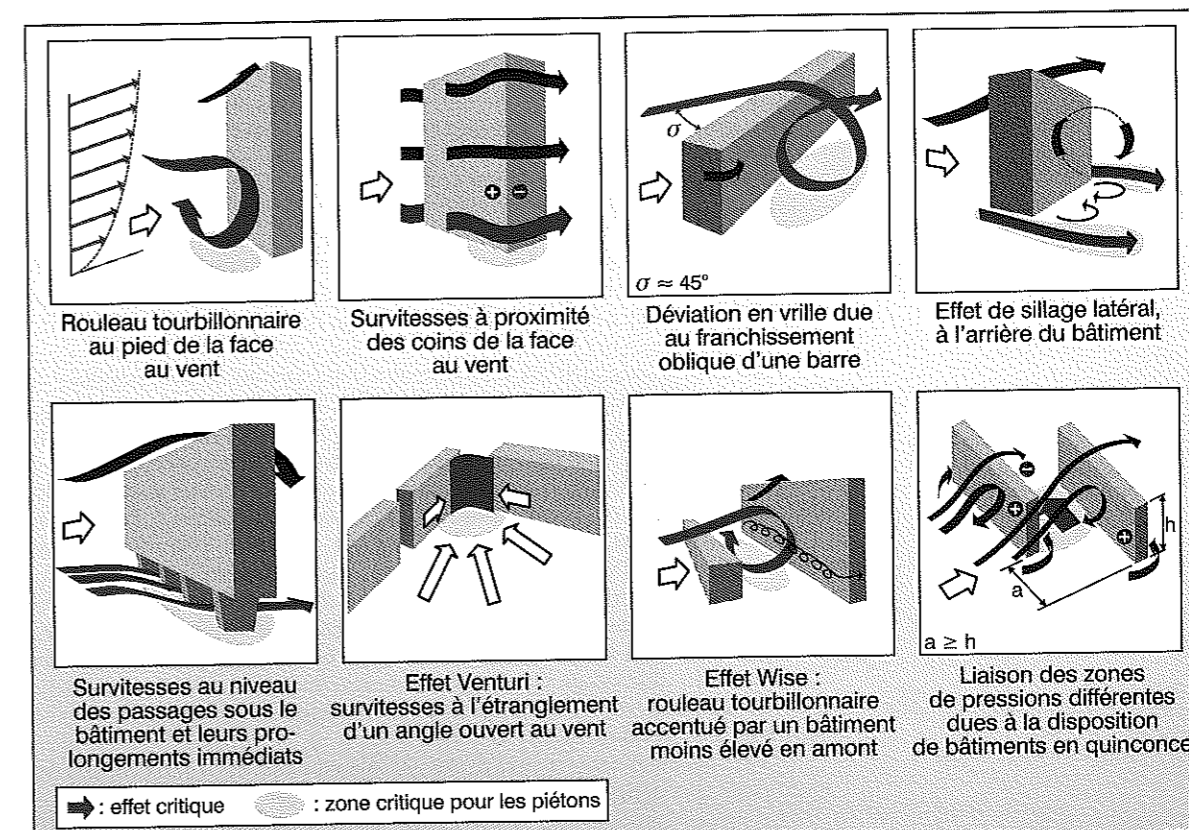
Ainsi, quatre règles doivent être respectées pour concevoir une morphologie urbaine qui bénéficie des aspects positifs du vent et se protège de ses effets négatifs :

- éviter les survitesses et les turbulences gênantes pour les piétons ;
- assurer la ventilation des espaces publics pour dissiper la pollution ;
- protéger les espaces publics des vents froids et dominants ;
- favoriser la ventilation naturelle des bâtiments grâce aux brises d'été.

Le vent est un élément fondamental dans la conception d'un microclimat urbain de qualité. Il influence le confort des piétons, la dispersion des polluants et la consommation d'énergie des bâtiments.



Le vent en milieu urbain. 1



2 Les principaux mécanismes critiques de l'écoulement du vent.

Pour tout travail d'urbanisme climatique, l'analyse du site est la première étape, sur base des informations rassemblées : données climatiques générales de la commune ; indicateurs locaux ; inventaire des obstructions à l'accès solaire et des facteurs d'économie d'énergie.

1) Le choix du site : on tire de l'ensemble de ces données un classement du site en zones soit très favorables, qui peuvent être privilégiées dans le développement à court terme ; d'autres nécessitant des aménagements préalables (plantation de haies, de bois) ; d'autres enfin devant être considérées comme non constructibles. On peut également juger nécessaire de classer certaines parties boisées ayant un rôle climatique reconnu. Précisons qu'il est ici implicite de connaître également les réglementations locales, les sites historiques, les gabarits et toitures, les fonctions, les configurations et les matériaux imposés. On en déduit enfin une orientation préférentielle de l'urbanisation, confortée par l'orientation des villages traditionnels proches, et nuancée par sa position dans le relief.

2) La disposition des rues et des parcelles : le maillage de rues dépend avant tout du réseau existant et des hiérarchies urbaines (axes principaux, type d'îlots) puis des logiques du relief (pour minimiser les coûts de nivellement, éviter les problèmes d'érosion et d'éboulement) et des lieux à desservir. Ensuite, on peut rechercher la disposition qui autorise le maximum d'orientations préférentielles des parcelles.

À ce stade, rues et parcelles sont conçus ensemble, voire même avec le gabarit du bâti (ils forment le "tissu urbain"). En effet, même dans un lotissement simple, ces paramètres sont imbriqués :

- les rues orientées nord/sud demandent des parcelles assez larges, pour éviter que les constructions ne se fassent successivement de l'ombre ;
- les rues est/ouest imposent aux maisons desservies par le sud d'avoir un grand recul à rue, pour profiter d'un jardin bien orienté à l'avant ;
- des rues orientées sud-est/nord-ouest (ou perpendiculairement) doivent éviter les parcelles allongées sud-ouest/nord-est car elles vont recevoir les vents dominants sur les deux façades principales, etc¹.

La largeur des rues est un paramètre important du confort extérieur, à calculer ensuite, selon les schémas d'ombrage maximal accepté en hiver, ou minimal en été (climats chauds). Il est préférable d'utiliser les routes pour créer le recul solaire, afin de ne pas y affecter des terrains constructibles.

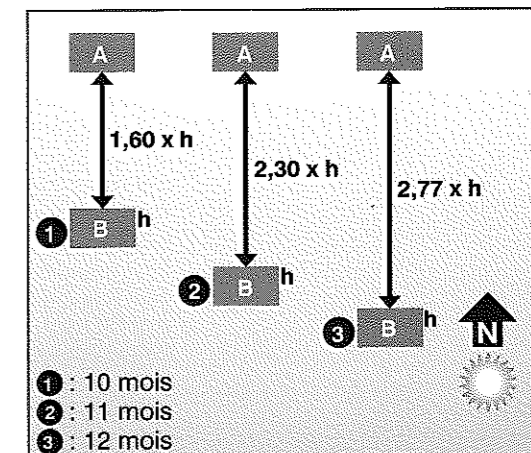
3) Les gabarits : on cherchera à placer les volumes les plus hauts du côté nord de la rue et les plus bas du côté sud pour contribuer à réduire l'ombrage de la rue, ou vice versa, pour ensoleiller plutôt les parcelles. Une règle simple (schéma 1) permet d'évaluer (sous nos latitudes tempérées) les distances entre bâtiments à respecter suivant le nombre de mois d'ensoleillement souhaité. Un calcul plus sophistiqué consiste à construire "l'enveloppe solaire" de la parcelle (schéma 2) : il s'agit du volume maximum qu'un bâtiment peut occuper sur un site sans causer d'ombrage significatif. L'exemple illustré est celui d'une parcelle à 40° de latitude nord, qui garantira l'accès solaire aux sites voisins entre 9 et 15 h, même le 21 décembre.

On peut enfin instaurer des accès par le nord/ouest de la parcelle, afin de favoriser la conception des espaces tampons dans cette orientation.

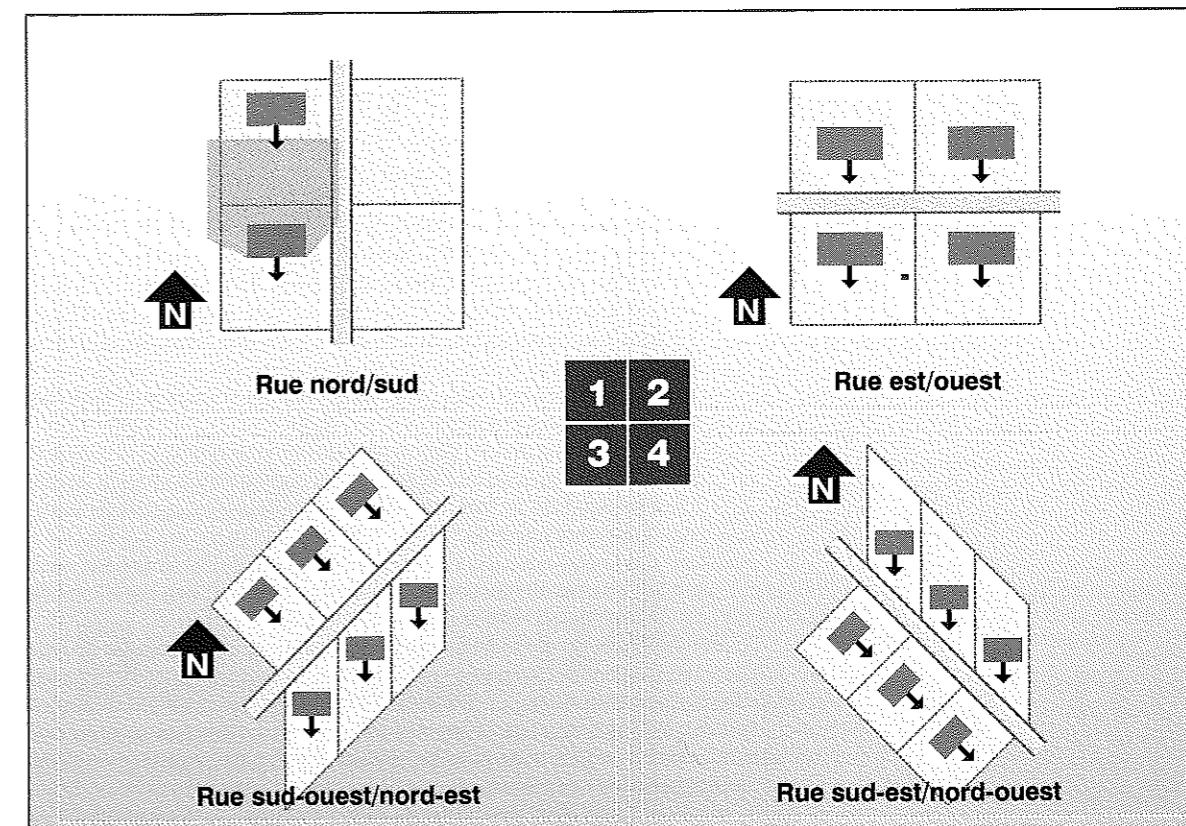
¹ Jean-Louis Izard, Alain Guyot, *Archi bio*, Éd. Parenthèses, 1979.

² Unité interaction énergie environnement, *Manuel de conception - architecture solaire passive pour la région méditerranéenne*, publié pour la Commission européenne par le Centre commun de recherche et la Direction générale de l'énergie.

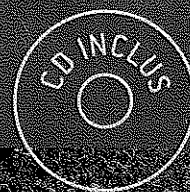
De l'analyse complète
d'un site, on peut déduire
les zones les plus
favorables à l'urbanisation
et les orientations à
privilégier.



Distances entre bâtiments à respecter ¹
suivant le nombre de mois d'ensoleillement
souhaité.



² Disposition des parcelles suivant le maillage des rues (d'après le conseil général des Deux-Sèvres).



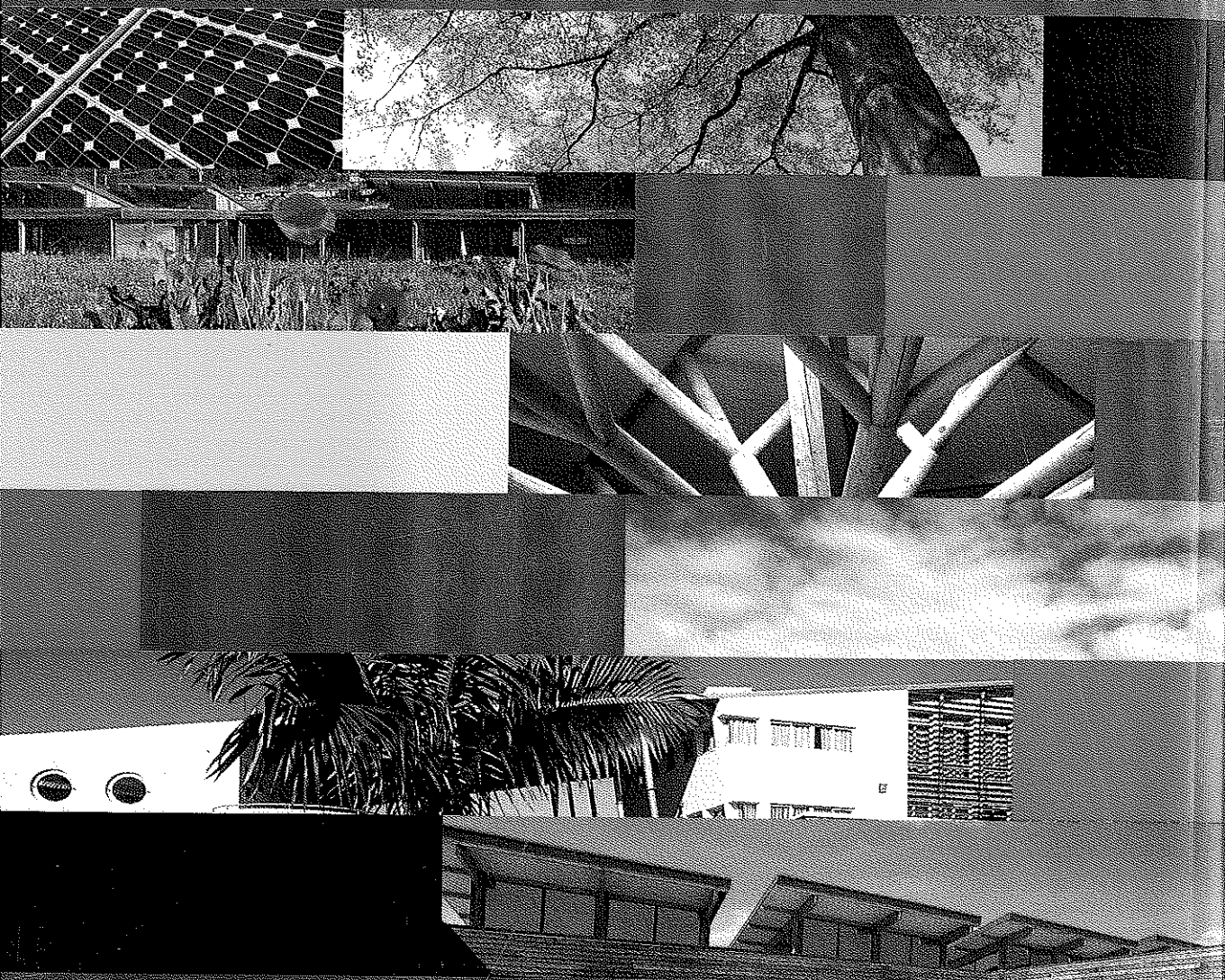
TRAITÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME BIOCLIMATIQUES

Concevoir, édifier et aménager
avec le développement durable

CONTIENT UN CD AUDIO OU
UN CD ROM / A VÉRIFIER AU RETOUR



4070014915



Comment concevoir, édifier et aménager le bâtiment et le territoire en n'hypothéquant pas l'avenir de nos enfants ?
Quelles architectures et quels urbanismes seront capables de répondre à nos besoins et à ceux des générations futures ?

En 368 fiches didactiques et plus de 776 pages, le *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques* répond à ces questions et à bien d'autres encore. Il propose des réponses concrètes en synthétisant l'état de l'art et des connaissances. Il offre une nouvelle approche conceptuelle assise sur l'examen systématique du "coût global actualisé".

À l'heure des grandes interrogations sur les changements climatiques, les aspirations au développement des populations du Sud, le maintien des niveaux de vie des populations du Nord, cet ouvrage veut partager avec tous les acteurs de la construction, de l'aménagement et du développement, qu'ils soient professionnels, étudiants, enseignants ou élus locaux et nationaux, les fruits d'un savoir concret et opérationnel.

Le grand public trouvera également dans ce livre les informations et les sources d'inspiration pour construire sa propre maison individuelle bioclimatique, en accord avec ses convictions environnementales.