



PROSPECTS URBAINS, OMBRES PORTEES ET ENERGIE SOLAIRE DISPONIBLE



**Jean-Louis IZARD
Laboratoire ABC
ENSA-Marseille**

Prospects urbains, ombres portées et énergie solaire disponible

Jean-Louis IZARD
Laboratoire ABC
ENSA-Marseille

Introduction

La phase plan-masse est lourde de conséquences sur la manière dont les façades des bâtiments en projet vont recevoir l'ensoleillement: si l'on n'y prend pas garde, on peut ensuite avoir affaire à des orientations défavorables ou à des ombres portées intempestives en saison d'hiver.

Par ailleurs, sauf à se limiter à un foncier de type "dent creuse", traiter de ce problème revient à s'intéresser aux ambiances urbaines puisque l'espace de desserte (l'espace en général public de la voirie) est concerné lui aussi par le choix des orientations de rues et de prospects.

Les paramètres à prendre en compte ici sont:

- La **nature du foncier**, et en particulier, la pente du terrain et l'orientation de celle-ci, qui favorisent ou défavorisent les possibilités de **recupérer l'énergie solaire** en hiver.
- Le **prospect de la rue** sous la forme du rapport Hauteur/Largeur, qui commande les **ombres portées d'hiver** et les **ombrages d'été** selon l'orientation.
- Les **orientations des façades** qui commandent la densité des **flux solaires incidents**.

Le présent article traite de ces paramètres pour aider le concepteur en phase esquisse.

1 - Nature du foncier

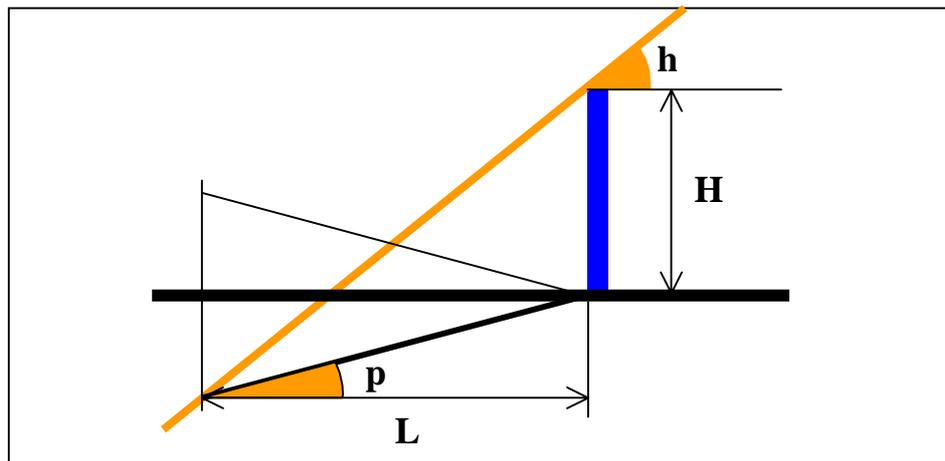
1-1. Effet de la pente

La pente du terrain est un paramètre très important car elle commande la longueur d'une ombre portée par un obstacle. Si l'on prend le phénomène ombre pour un obstacle de hauteur **H**, la longueur **L** de l'ombre portée au sol dans la direction du rayon solaire est égale à :

$$L = H / (\operatorname{tgh} + \operatorname{tgp}) \quad (1)$$

Où :

- h = hauteur du soleil au dessus de l'horizon ($^\circ$),
- p = pente du terrain ($^\circ$), comptée :
 - positivement si la pente est vers le soleil
 - négativement si elle est opposée au soleil.



Deux cas particuliers d'application de la formule (1) :

- Lorsque la pente du terrain est égale à celle du rayon solaire, c'est à dire lorsque $h = p$, la longueur de l'ombre tend vers l'infini ($L = H/0$).
- Lorsque le terrain est horizontal , $p = 0$ et la longueur de l'ombre au sol est égale à H/tgh .

1-2. Pente du terrain, densité d'occupation du sol et « droit au soleil »

L'application de la formule (1) conduit à rendre inexploitable un terrain lorsque sa pente est négative et s'approche de la valeur de l'inclinaison du rayon solaire en hiver. Si l'on se donne comme règle absolue de « garder l'ombre chez soi », un terrain dont la pente négative dépasse une valeur de seuil devient inconstructible.

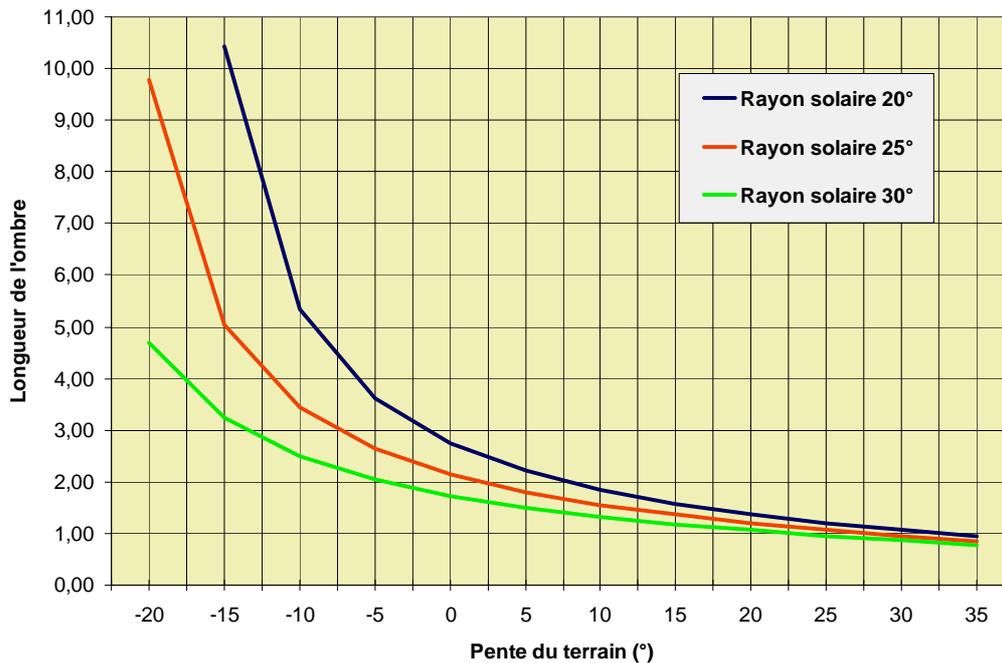
En deçà de ce seuil, sa densité constructible est donc très faible. Pour approcher cette valeur de seuil, le graphique suivant montre comment varie la longueur de l'ombre portée au sol en fonction de la pente du terrain (dans le plan vertical contenant le rayon solaire) pour trois inclinaison du rayon solaire.

Avec une hauteur du soleil à 20° , la longueur de l'ombre portée sur un sol horizontal ($p=0$) est égale à 2,75 fois la hauteur de l'obstacle. Si on construit sur une parcelle des maisons en bande R+2, modèle qui est répandu dans l'urbanisme écologique, c'est à dire une hauteur de 9m pour une profondeur bâtie de 12m, il faudra donc sur un terrain horizontal laisser libre une bande de terrain de $2,75 \times 9 = 24,75\text{m}$. Une implantation d'un tel modèle respectant le droit au soleil occupera donc $24,75 + 12 = 36,75\text{m}$. Trois bandes consécutives occuperont donc 110,25m. On a donc à l'hectare :

- 3265 m^2 de sol occupé, soit un coefficient de 0,36.
- 9796 m^2 de SHON, soit un COS de 0,98, ce qui est correct.

Que se passe-t-il si le terrain n'est pas horizontal ?

INFLUENCE DE LA PENTE



Variation de la longueur de l'ombre portée au sol par une hauteur unitaire (H=1) en fonction de la pente du terrain et pour trois inclinaisons des rayons solaires

Ce graphique montre clairement que dans le choix d'une pente de terrain, il y a beaucoup plus à perdre en choisissant un terrain en pente négative (zone du diagramme à gauche de 0) qu'il n'y a à gagner avec une pente positive (zone du diagramme à droite de 0).

Reprenons notre exemple : supposons maintenant que le terrain est en pente négative de 10°. Le diagramme montre que pour le soleil à 20° la longueur de l'ombre est égale à 5,5 fois la hauteur de l'obstacle, soit ici 49,50m. La bande totale occupe donc 61,50m. Les densités d'occupation à l'hectare deviennent donc :

- 975m² de sol occupé, soit un coefficient de 0,1
- 2927m² de SHON, soit un COS de 0,29, ce qui est faible.

Si on respecte le droit au soleil intégral, la pente de 10° réduit la densité d'occupation du terrain d'un facteur 3.

2 - Ombres urbaines

2-1. Aspects dimensionnels

Lorsqu'un bâtiment est implanté le long d'une rue, il peut être affecté par l'ombre portée par des bâtiments situés en vis-à-vis.

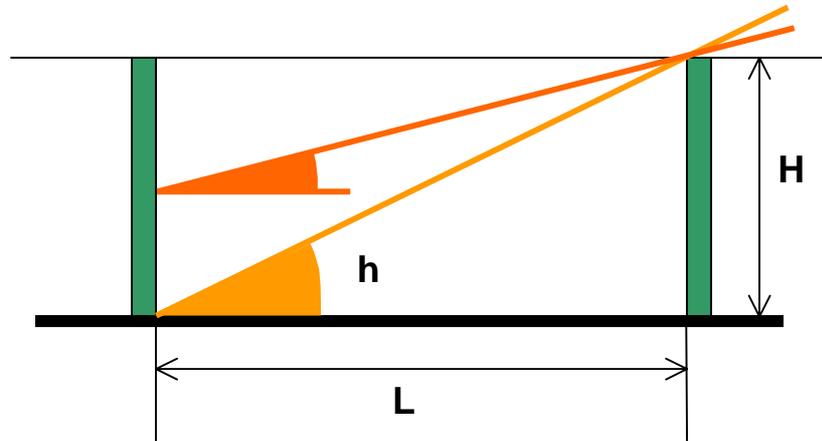


Schéma d'une rue avec bâtiments en vis-à-vis avec les dimensions caractéristiques

Le schéma ci-dessus montre que tant que la hauteur du soleil est égale ou supérieure à $h = \arctg H/L$ la façade est totalement ensoleillée.

De la même manière, pour $h = \arctg H/2L$, la façade est ensoleillée à moitié (s'il s'agit d'un bâtiment R+1, seul l'étage sera ensoleillé).

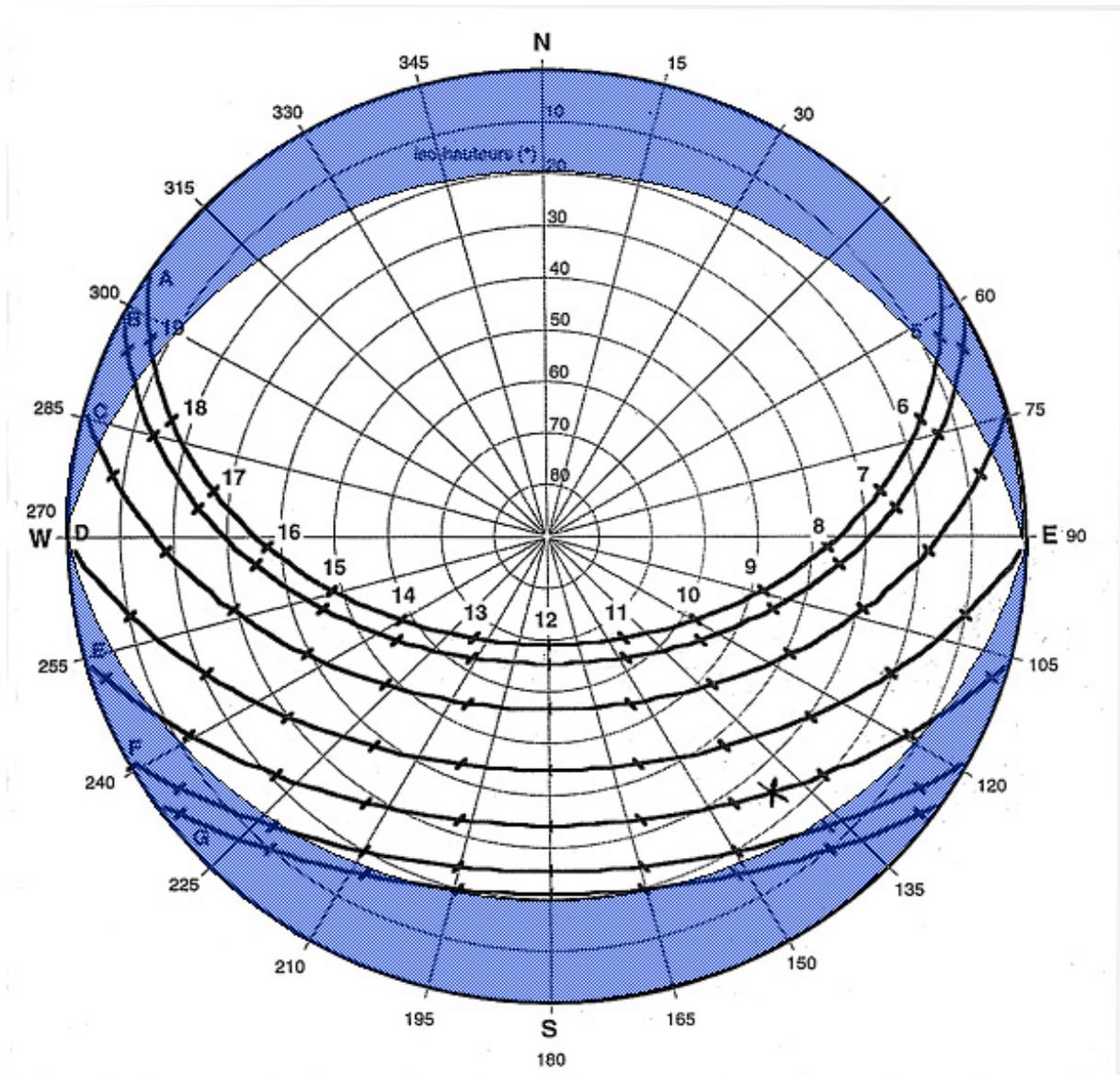
L'angle h est également l'**angle d'occultation** de la rue : pour toute hauteur du soleil égale ou inférieure à $h = \arctg H/L$, la rue est totalement ombrée au sol.

A partir de ce constat angulaire, l'ensoleillement réel de la façade dépend de l'orientation de celle-ci, c'est à dire aussi celle de la rue.

2-2. Effets d'ombres selon l'orientation de la rue

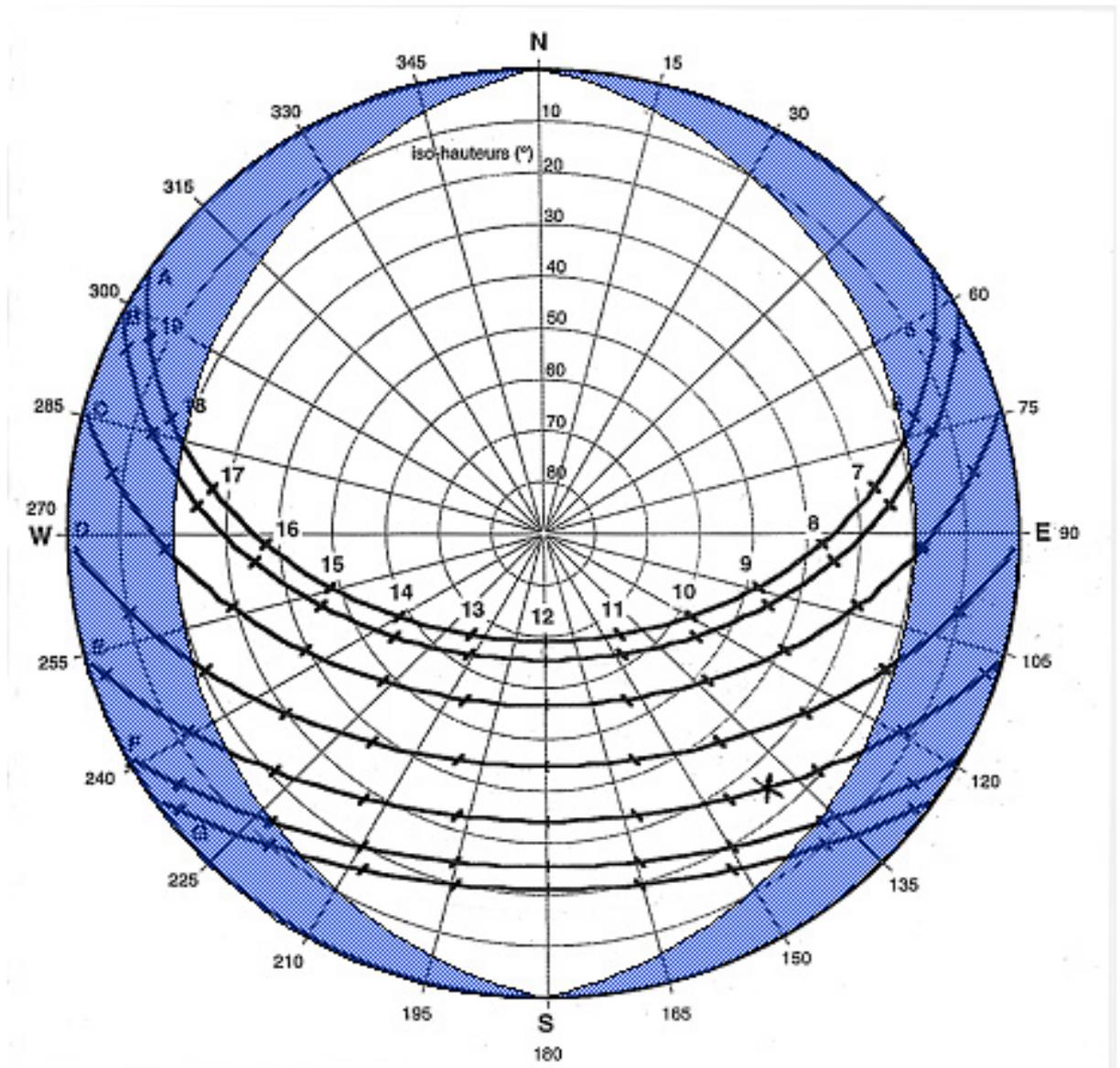
Ces effets d'ensoleillement total ou d'ombrage total peuvent être dessinés sur des diagrammes solaires, d'où il est possible de tirer toutes les informations sur ce qui se passe à longueur d'année et de journée.

Les pages suivantes montrent ces diagrammes pour deux rues de prospects égaux à 20 et 30° et à axes orientés EST-OUEST et NORD-SUD., sous la latitude 44°N.



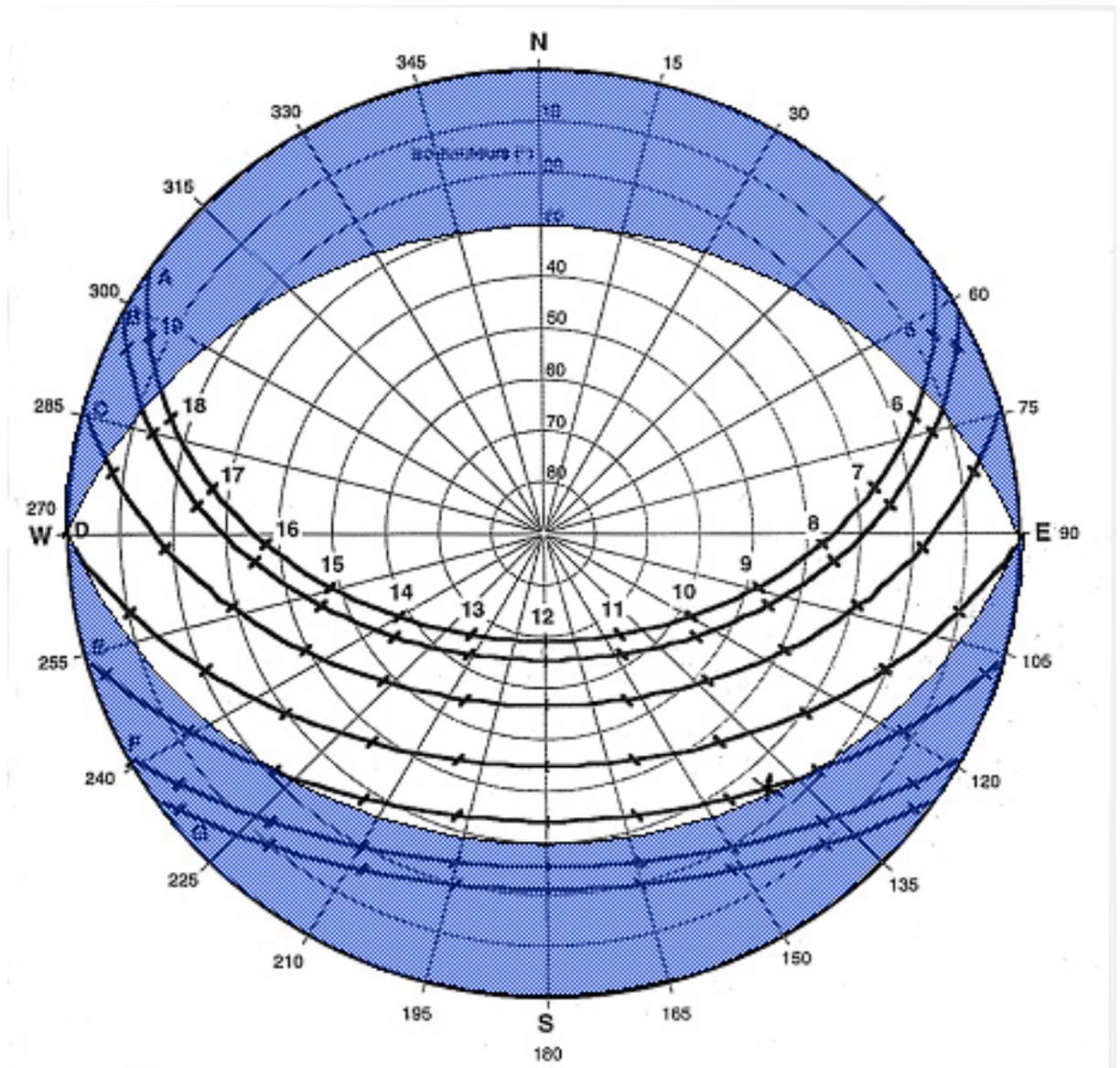
Rue d'axe EST-OUEST avec un prospect de 20°

- La façade SUD est ensoleillée en décembre pendant deux heures (11 à 13h T.S.V.), puis en janvier-novembre, pratiquement de 9h à 15h. On peut en déduire que le prospect de 20° constitue pour cette latitude la solution qui permet de sauvegarder l'ensoleillement d'hiver des façades SUD.
- La façade NORD est ombrée en juin du lever à 5h15 et de 18h45 au coucher (cette façade est en ombre propre entre 7h45 et 16h15).
- Le sol de la rue est à peu près totalement à l'ombre en décembre, puis partiellement éclairé pendant les autres mois. A l'opposé, aucune ombre portée ne se produit lorsque le soleil est dans le plan axial : juin à 7h45 et 16h15, juillet-mai à 7h30 et 16h30, août-avril à 6h50 et 17h10.



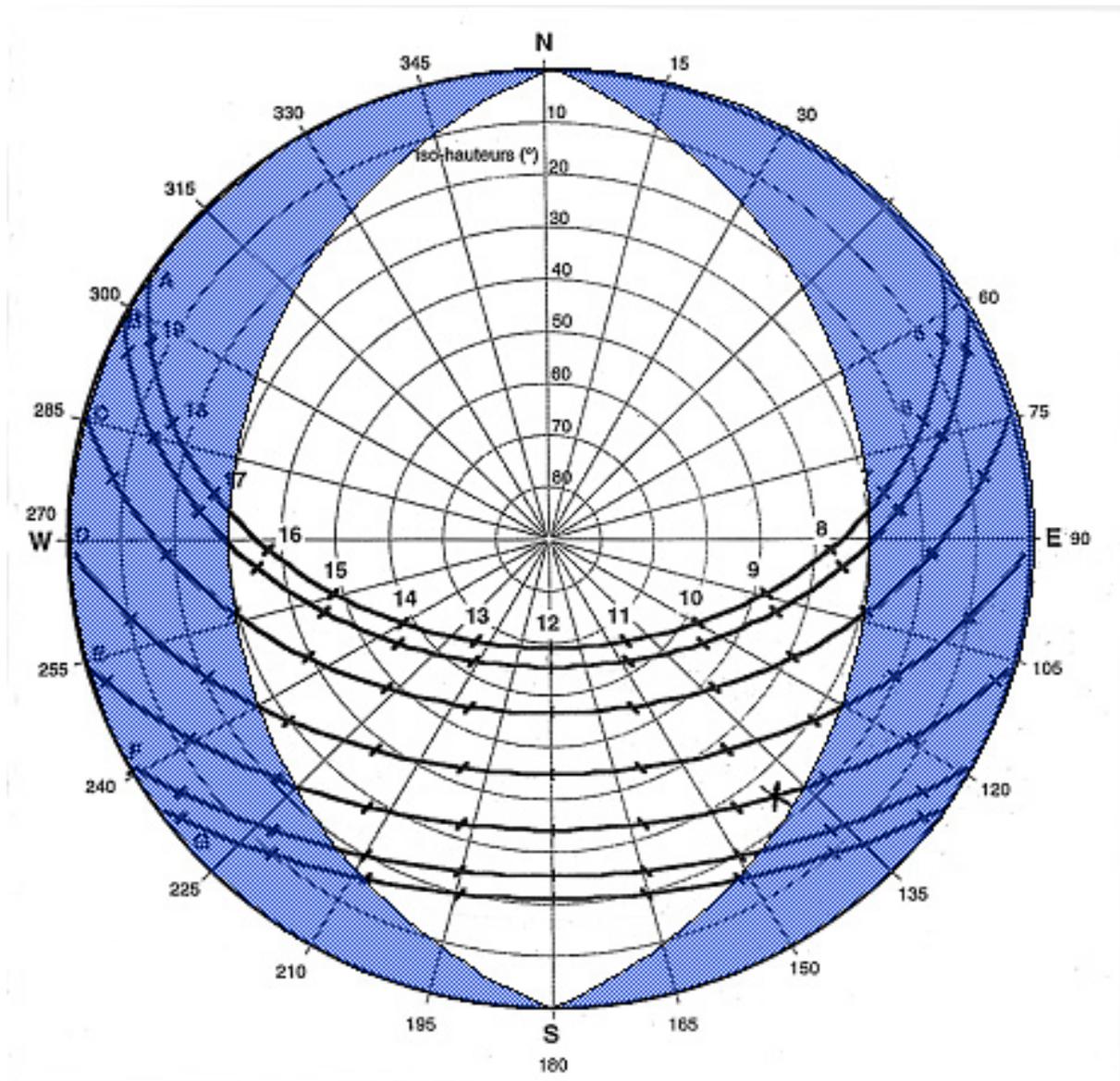
Rue d'axe NORD-SUD avec un prospect de 20°

- La façade EST est ensoleillée en décembre pendant 2 heures et demie (9h30 à 12h T.S.V.), puis en janvier-novembre, pratiquement de 9h à 12h. A partir de 12h, elle passe en **ombre propre**.
- La façade OUEST est ensoleillée en décembre pendant 2 heures et demie (12h à 14h30 T.S.V.), puis en janvier-novembre, pratiquement de 12h à 15h. Jusqu'à 12h, elle est en **ombre propre**.
- Le sol de la rue est totalement ensoleillée en décembre pendant cinq heures, de 9h30 à 14h30. Cette durée d'ensoleillement croît jusqu'en juin où elle s'étend de 6h15 à 17h45. A l'opposé, aucune ombre portée ne se produit lorsque le soleil est dans le plan axial: toute l'année à 12h.



Rue d'axe EST-OUEST avec un prospect de 30°

- La façade SUD est n'est totalement ensoleillée qu'en février-octobre de 9h à 15h., puis en janvier-novembre, pratiquement de 9h à 15h. Les mois d'hiver, son ensoleillement dépend de l'étage.
- La façade NORD est ombrée en juin du lever à 5h45 et de 18h15 au coucher (cette façade est en ombre propre entre 7h45 et 16h15).
- Le sol de la rue est totalement à l'ombre en décembre, janvier-novembre puis partiellement éclairé pendant les autres mois. A l'opposé, aucune ombre portée ne se produit lorsque le soleil est dans le plan axial : juin à 7h45 et 16h15, juillet-mai à 7h30 et 16h30, août-avril à 6h50 et 17h10.



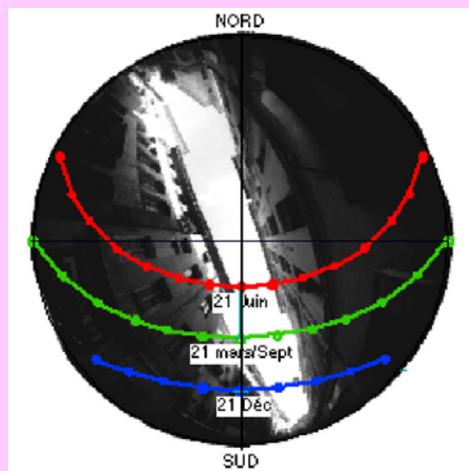
Rue d'axe NORD-SUD avec un prospect de 30°

- La façade EST est ensoleillée en décembre pendant 2 heures (10h à 12h T.S.V.), puis cet ensoleillement est croissant jusqu'en juin où il dure de 7h15 à 12h. A partir de 12h, elle passe en **ombre propre**.
- La façade OUEST est ensoleillée en décembre pendant 2 heures (12h à 14h T.S.V.), puis cet ensoleillement est croissant jusqu'en juin où il dure de 12h à 16h45. Jusqu'à 12h, elle est en **ombre propre**.
- Le sol de la rue est totalement ensoleillé en décembre pendant quatre heures, de 10h à 14h. Cette durée d'ensoleillement croît jusqu'en juin où elle s'étend de 7h15 à 16h45. A l'opposé, aucune ombre portée ne se produit lorsque le soleil est dans le plan axial : toute l'année à 12h.

Le cas des rues canyon

Un rue canyon est une rue où la hauteur des bâtiments est égale à deux fois ou plus la largeur de la rue. Le soleil a du mal à y pénétrer et quand il y parvient, cela ne dure pas longtemps. La plupart des centres historiques des cités méditerranéennes comportent des rues canyon.

Seules, les parties supérieures des bâtiments peuvent récupérer des apports solaires en hiver, là où les prospects sont plus favorables. En été, selon l'orientation de l'axe de la rue, l'ombre est permanente ou bien le soleil éclaire un court instant la rue, comme le montre la figure suivante.



Exemple de rue canyon à Aix-en-Provence : photo fish-eye avec superposition du diagramme solaire en position ad hoc.

3 - Eclairage énergétique des façades

3-1. Quelques rappels concernant l'énergie solaire incidente sur un plan

La quantité d'énergie solaire reçue par un plan, ou plus exactement la puissance du rayonnement solaire reçue à un instant t , dépend de deux angles :

- La hauteur h du soleil au dessus de l'horizon, qui fixe l'épaisseur de la couche atmosphérique que les rayons ont à traverser (extinction atmosphérique) ;
- L'angle d'incidence i du rayon solaire par rapport au plan.

Bien entendu, les valeurs de ces deux angles varient constamment à longueur de journée, si bien que la puissance solaire reçue varie elle aussi. Pour un journée de « ciel serein », l'énergie totale reçue dépend donc de l'exposition du plan qui commande l'évolution de l'angle d'incidence.

Cette énergie s'exprime soit en kWh/m², soit kJ /cm². Rappelons que 1 Watt équivaut à 1 Joule par seconde et qu'il y a donc 3600 Joules dans 1 Watt.heure :

$$1\text{Wh} = 3,6 \text{ kJ}$$

3-2. Energie solaire reçue selon l'exposition du plan récepteur

Les pages suivantes montrent différentes représentations globales du phénomène « **éclairage énergétique solaire** » des plans. Successivement :

- L'éclairage énergétique d'un plan selon son inclinaison et son orientation à l'équinoxe sous la latitude 43°
- L'énergie reçue par le plan vertical en fonction de l'orientation et de la période de l'année (Latitude 43°)
- L'énergie reçue par le plan vertical en fonction de l'heure et du mois pour l'orientation Sud et Ouest (Latitude 43°)

Eclairement énergétique d'un plan selon son inclinaison et son orientation à l'équinoxe sous la latitude 43°

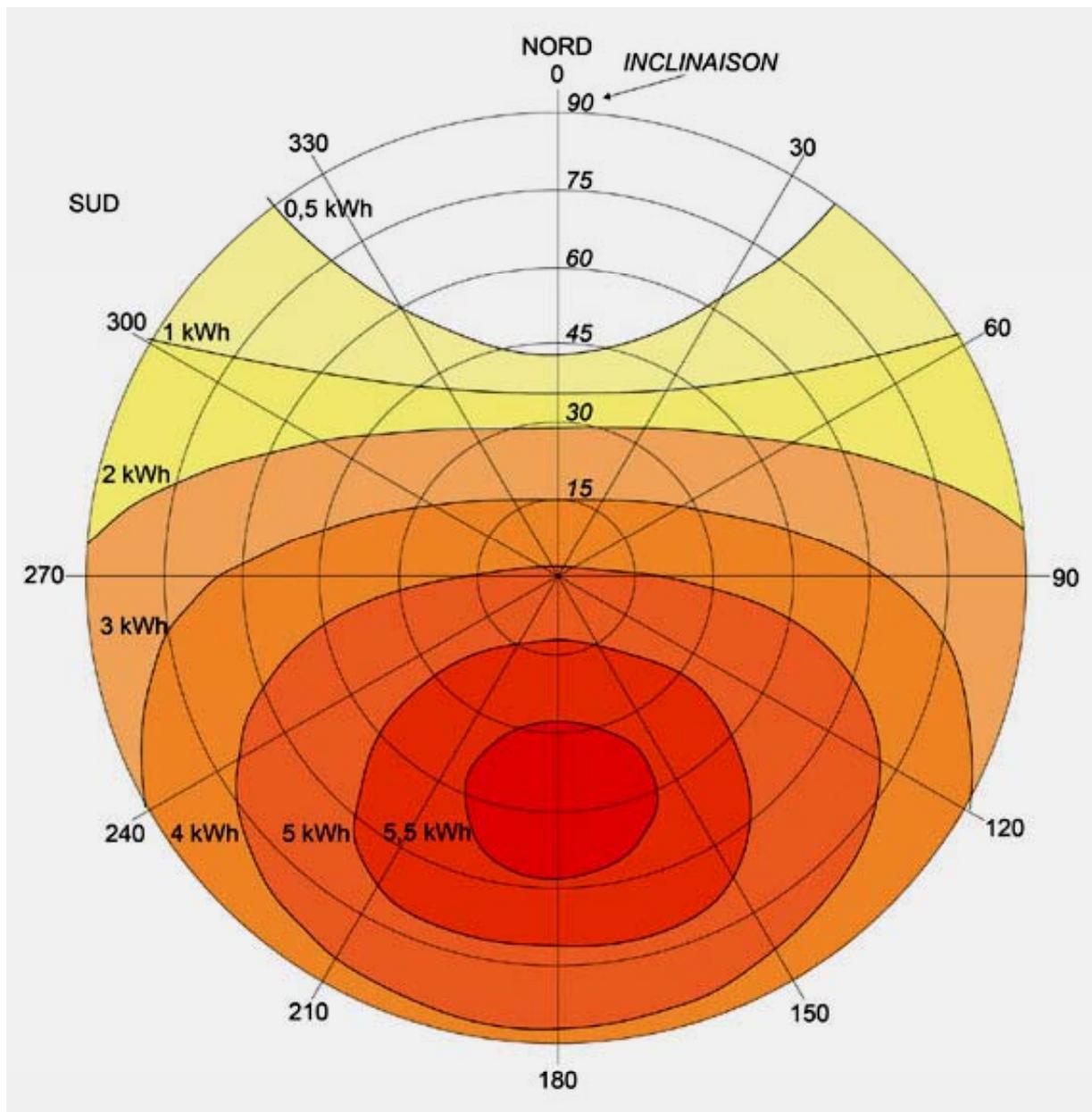
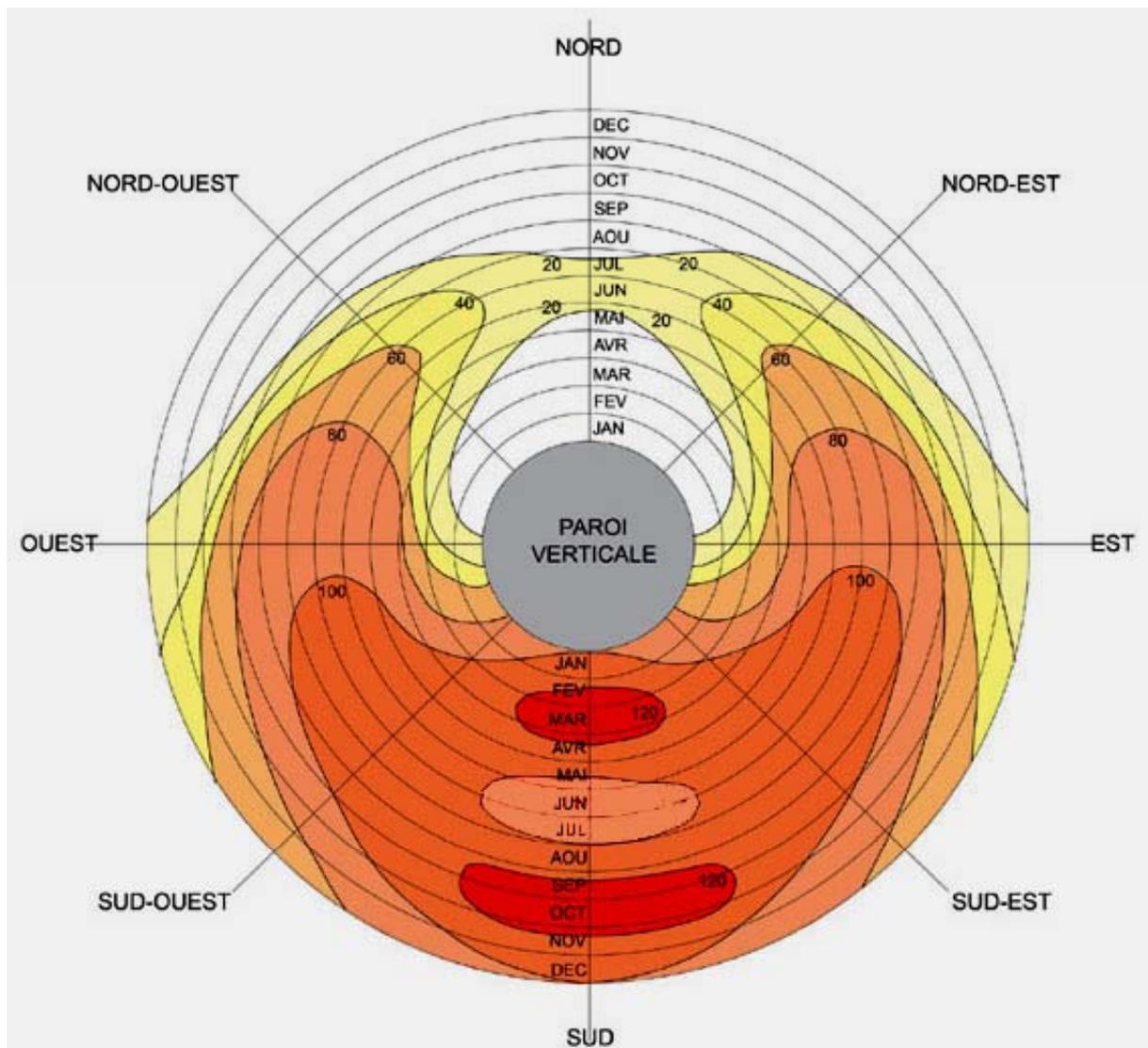


Diagramme d'éclairement énergétique d'un plan selon son inclinaison et son orientation

De toutes les expositions, l'inclinaison comprise entre 30 et 60° et orientée entre 150 et 210° d'azimut est celle qui reçoit le plus d'énergie solaire (<6kWh/m²) pendant la période voisine de l'équinoxe. A cette période, le plan vertical SUD et le plan horizontal connaissent des éclairements énergétiques similaires.

Energie reçue par le plan vertical en fonction de l'orientation et de la période de l'année (Latitude 43°)

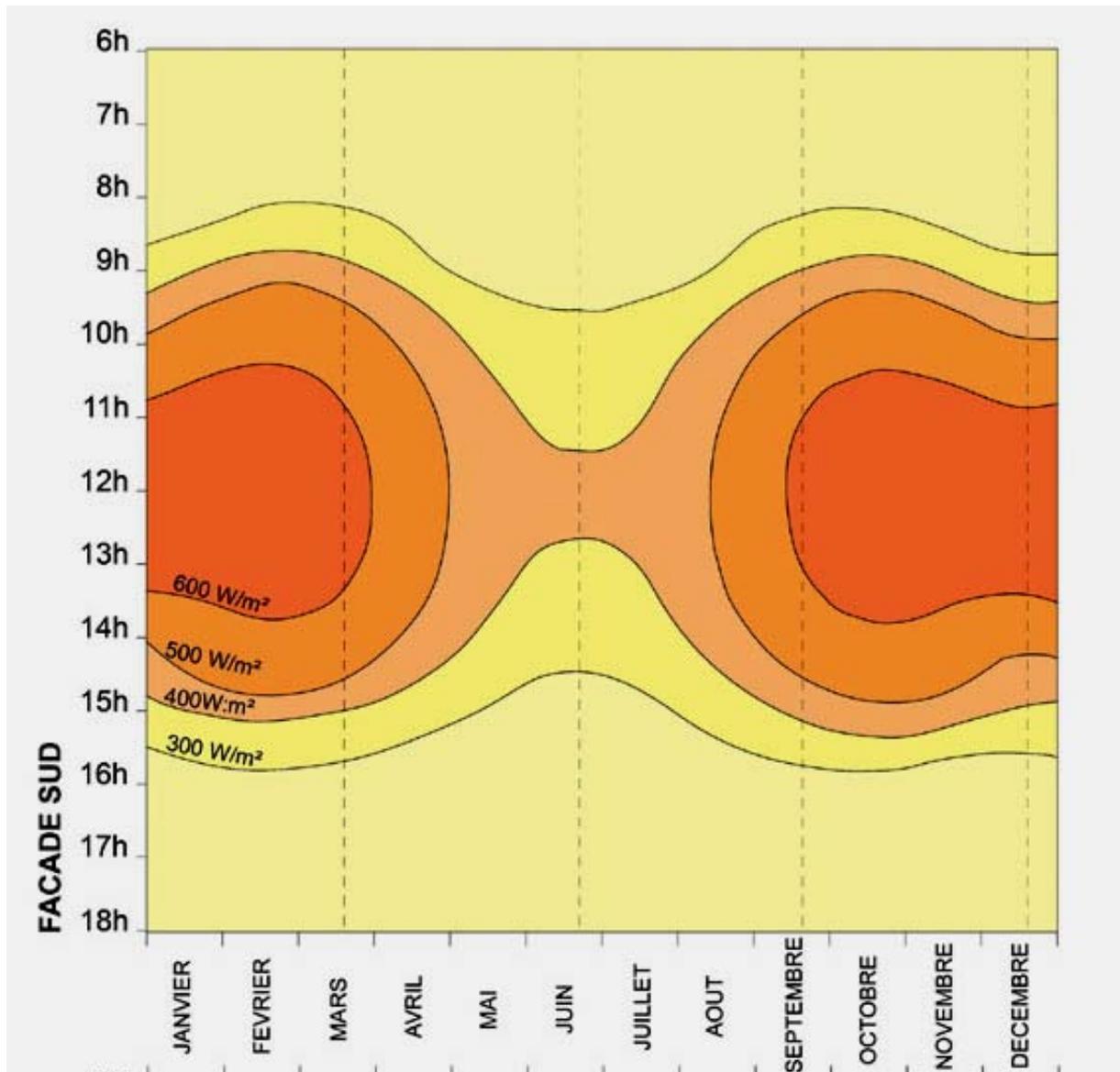


Valeurs relatives d'éclairement énergétique journalier par rapport à ce que reçoit une façade SUD en hiver (base 100 = éclairement du plan vertical en décembre).

L'éclairement solaire du plan vertical varie très vite avec l'orientation pendant les mois d'hiver et est plus constant en été

Aux mois d'été, les plans verticaux centrés sur le Sud reçoivent une énergie équivalente à celle des plans verticaux Ouest.

Energie reçue par le plan vertical en fonction de l'heure et du mois pour l'orientation Sud et Ouest.

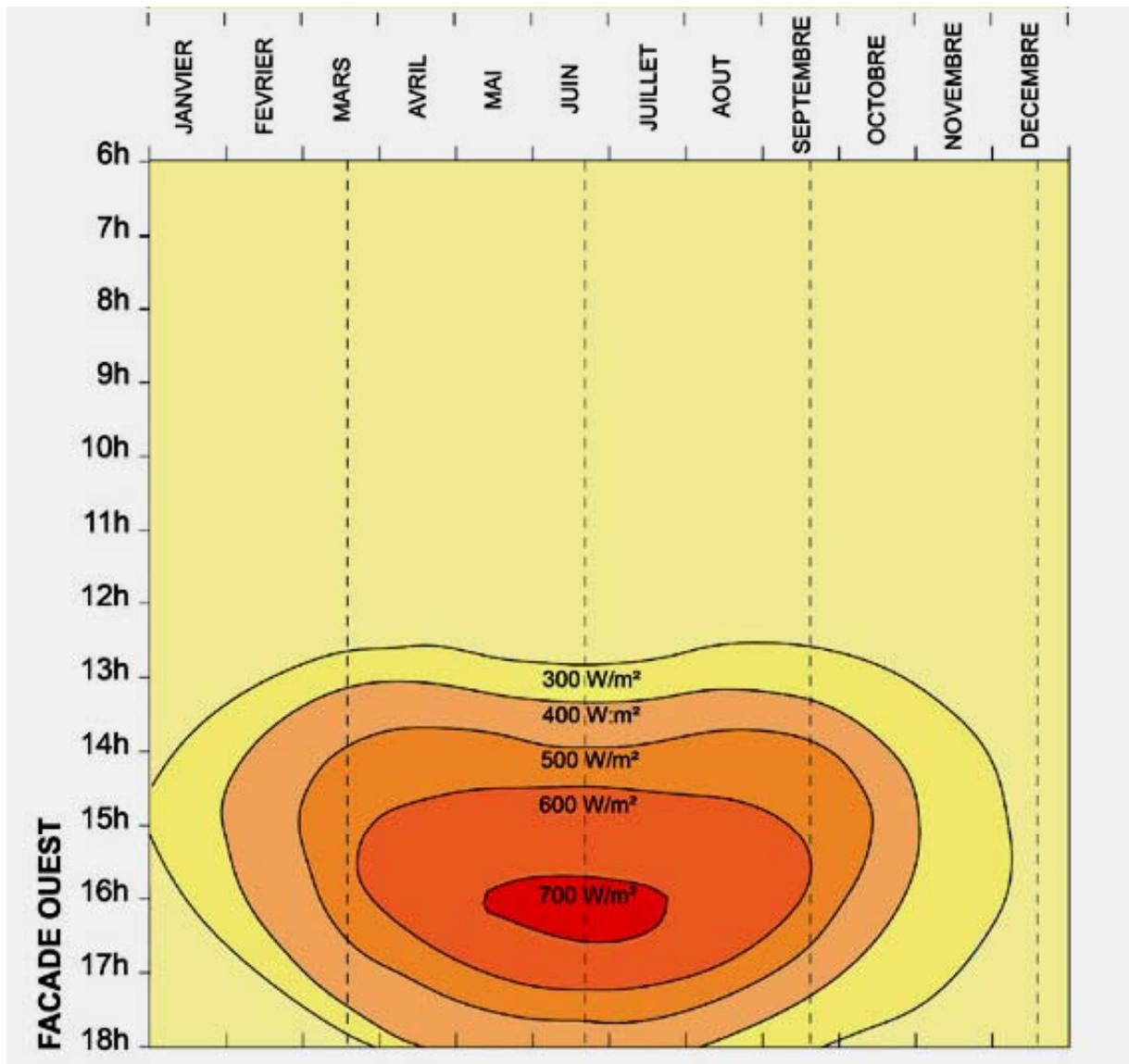


Répartition horaire des puissances reçues par mois par un plan vertical SUD :

La valeur maximale ($>600\text{W/m}^2$) correspond aux milieux de journée (11-13h) des mois d'hiver.

En été, le flux solaire incident est nettement plus faible ($<400\text{W/m}^2$ sauf entre 11h30 et 12h30 où cette valeur est à peine dépassée).

Energie reçue par le plan vertical en fonction de l'heure et du mois pour l'orientation Ouest.



Répartition horaire des puissances reçues par mois par un plan vertical OUEST:

La valeur maximale ($> 700\text{W/m}^2$) correspond aux après-midis des mois d'été, heures statistiquement les plus chaudes.

En hiver, le flux solaire est modéré ($< 300\text{W/m}^2$).

4 – Bibliographie

Il n'y a pas d'ouvrages spécifiques sur le sujet des prospects urbains mais la question est abordée dans divers ouvrages consacrés au développement durable urbain. Citons tout de même :

G.Z. BROWN & Mark DEKAY: "*Sun, Wind & Light; architectural design strategies*", second edition; John Wiley & Sons, New York, 2000.

Excellent ouvrage superbement illustré et très complet sur la conception durable des bâtiments, comportant d'innombrables abaques de prédimensionnement du projet par rapport à l'énergie, les ambiances, l'aérodynamique et la lumière naturelle. Les outils solaires sont présentés de manière quasi-exhaustive (double lecture des diagrammes solaires pour les deux hémisphères). Un seul regret : c'est en anglais et les unités sont celles des USA !