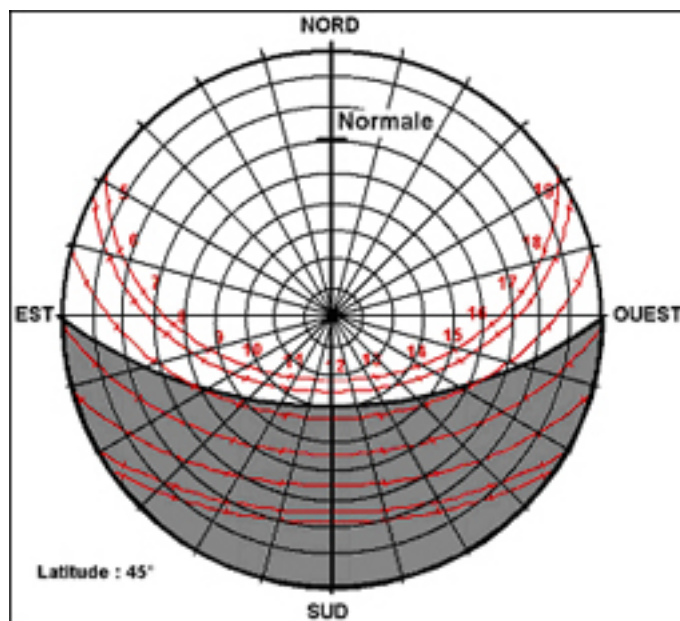




LES DIAGRAMMES SOLAIRES

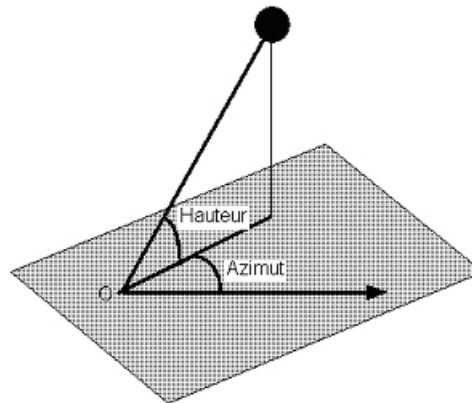


Jean-Louis IZARD
Laboratoire ABC
ENSA-Marseille

1 - Le principe des diagrammes solaires

1-1. Définition de la position du soleil

Le point de départ des diagrammes solaires est la position du soleil dans le ciel qui se détermine à partir de deux angles : **la hauteur et l'azimut**.



Les deux angles à la base de la représentation de la course du soleil dans le ciel : la hauteur et l'azimut

1-2. Formules donnant les positions du soleil

Des formules permettent de calculer les valeurs de ces deux angles à chaque instant en fonction de la latitude du lieu. Pour les amateurs de programmation, à chaque instant, la position du soleil dans le ciel est définie par sa hauteur **h** et son azimut **a** avec les formules suivantes:

$$\sin h = \sin (\text{LAT}) . \sin \delta + \cos (\text{LAT}) . \cos \delta . \cos (\text{AH})$$

$$\cos a = [\sin (\text{LAT}) . \cos \delta . \cos (\text{AH}) - \cos (\text{LAT}) . \sin \delta] / \cos h$$

Où:

LAT = Latitude en degrés

AH = Angle horaire (égal à 0° à midi et 180° à minuit, avec une variation horaire de 15°).

δ = déclinaison du soleil, dépendant de la date selon le tableau suivant (pour le 20 de chaque mois):

DEC	JAN/NOV	FEV/OCT	MAR/SEP	AVR/AOU	MAI/JUL	JUIN
-23°27	-20°10	-11°20	0°	+11°20	+20°10	+23°27

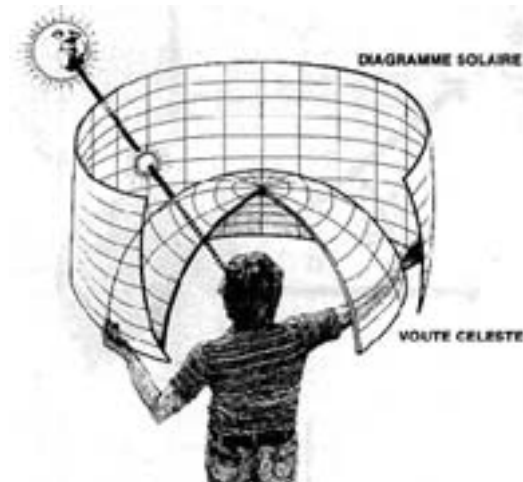
Azimut du lever et du coucher:

$$\cos a = \sin (\text{LAT}) . \cos \delta . \cos (\text{AH}_0) - \cos (\text{LAT}) . \sin \delta$$

$$\text{avec } \cos (\text{AH}_0) = - \text{tg} (\text{LAT}) . \text{tg} \delta$$

2 - Construction des diagrammes solaires

Le diagramme solaire représente les **courses apparentes du soleil** dans le ciel, la position du soleil étant définie par deux angles: **l'azimut et la hauteur** au dessus de l'horizon. Les diagrammes solaires donnent en général ces courses pour chaque mois (le 21). Certains intercalent les courses décadaires notamment entre mars et septembre.

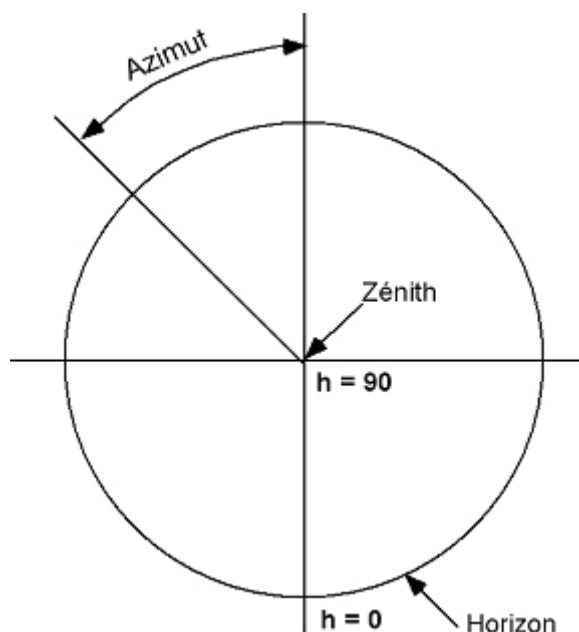


Le diagramme solaire est obtenu par projection des positions angulaires du soleil (*azimut, hauteur*) sur un support géométrique 3D simple (*cylindre ou mieux, demie sphère*) que l'on rabat ensuite sur un plan en 2D. Comme dans un planétarium, tous les objets de l'espace peuvent être traduits par des points appartenant à une même sphère finie que l'on appelle *sphère fictive*. Les courses apparentes du soleil entrent dans cette catégorie d'objets célestes.

Les deux projections possibles pour la représentation de la course du soleil, d'après MAZRIA, « Guide de l'architecture passive ».

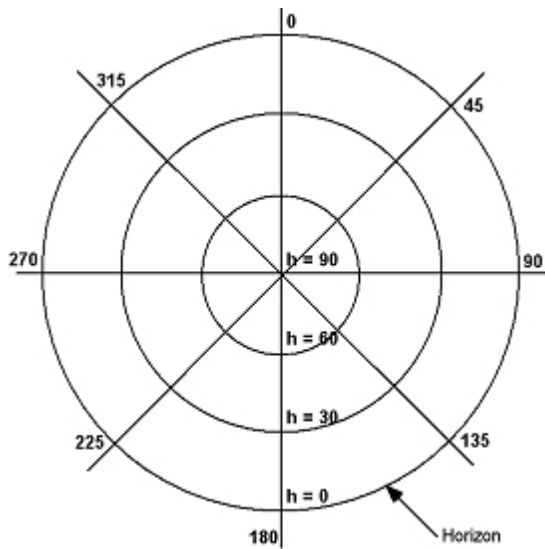
La projection verticale de la demie sphère fictive donne donc un cercle dont le centre représente le (zénith) et la circonférence (l'horizon).

Sur cette projection que l'on qualifie de **sphérique**, les *azimuts* sont donc vus en vraie grandeur, comme sur un plan d'architecte.



Pour les *hauteurs*, l'horizon ($h = 0^\circ$) et le zénith ($h = 90^\circ$) étant déjà connus, toutes les hauteurs intermédiaires sont nécessairement comprises entre le cercle et son centre. Par convention, les iso-hauteurs (en général de 10 en 10°) sont représentées par des cercles concentriques équidistants, c'est pourquoi ces diagrammes sont appelés **sphériques équidistants**.

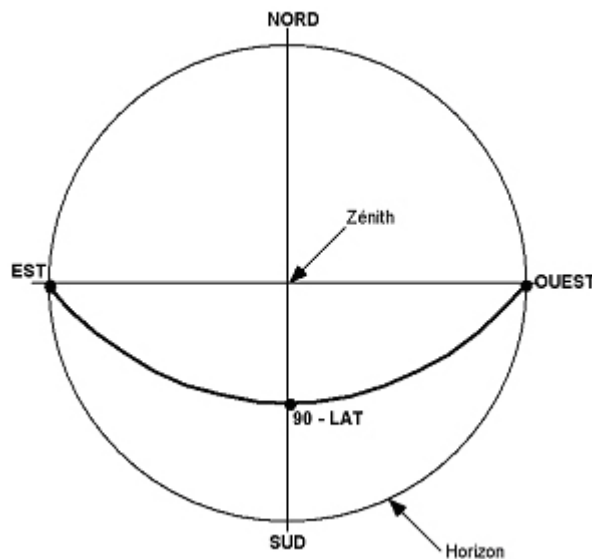
Les bases de la projection sphérique :
horizon, zénith, hauteurs, azimuts



Les bases de la projection sphérique :
Rayons indicateurs d'azimut et cercles concentriques porteurs d'iso-hauteur.

Il est possible de construire la course apparente du soleil à l'équinoxe (mars et septembre), car trois points de cette courbes sont facilement repérables :

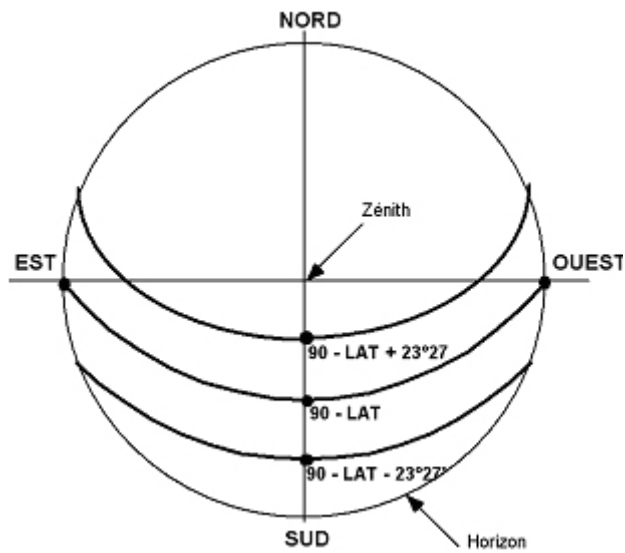
- La position du lever du soleil, exactement à l'EST (azimut 90° ; $h = 0^\circ$)
- La hauteur du soleil à midi (azimut 180°) : **$h = 90^\circ - \text{Latitude du lieu}$**
- La position du coucher du soleil, exactement à l'OUEST (azimut 270° ; $h = 0^\circ$).



Construction simplifiée du diagramme solaire : Courbe de l'équinoxe

Les autres hauteurs du soleil à 12h se déduisent de celle de l'équinoxe :

- Au solstice d'hiver, **en retranchant $23^\circ 27'$**
- Au solstice d'été, **en ajoutant $23^\circ 27'$** .
- Aux autres dates, **en retranchant ou en ajoutant les valeurs de la *déclinaison mensuelle***.



Avec ces 5 points, on peut construire un diagramme solaire rudimentaire qui permettra de remplir une grande partie des fonctions dévolues aux diagrammes solaires.

Construction simplifiée du diagramme solaire : Courbes des solstices.

3 - Usage des diagrammes solaires

Les diagrammes solaires sont utiles pour effectuer les opérations suivantes:

- Connaître exactement en fonction de la latitude et des saisons **les hauteurs maximales du soleil à 12h** ainsi que les **azimuts des levers et couchers de du soleil** et par conséquent la **durée d'ensoleillement théorique** qui en découle.
- Savoir comment un plan horizontal ou surtout vertical est ensoleillé; pouvoir répondre avec précision à la question: « **à quels moments le plan est-il ensoleillé et à quels moments est-il en ombre propre?** »
- Etablir **l'impact des masques de l'environnement sur l'ensoleillement** réellement disponible sur le site (obstacle lointains comme les montagnes, les arbres ou des bâtiments voisins).
- Vérifier avec sûreté **l'efficacité des protections solaires fixes** (*protections architecturales*) selon l'exposition de la façade.
- **Aider à la définition du type de protection solaire fixe** requise en fonction du climat et de l'exposition solaire.

Aucune de ces tâches ne peut vraiment être exécutée avec certitude sans ces outils, même pour un concepteur expérimenté.

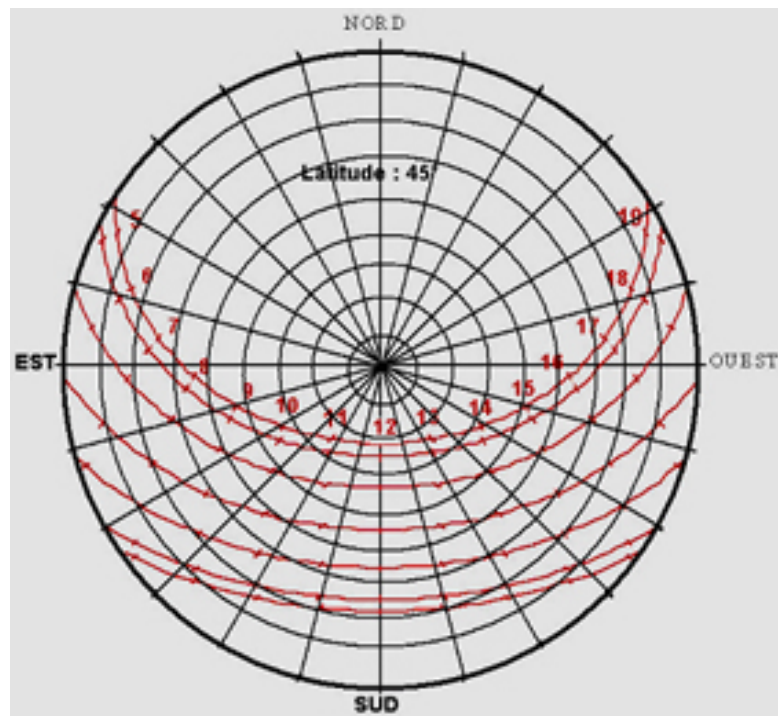
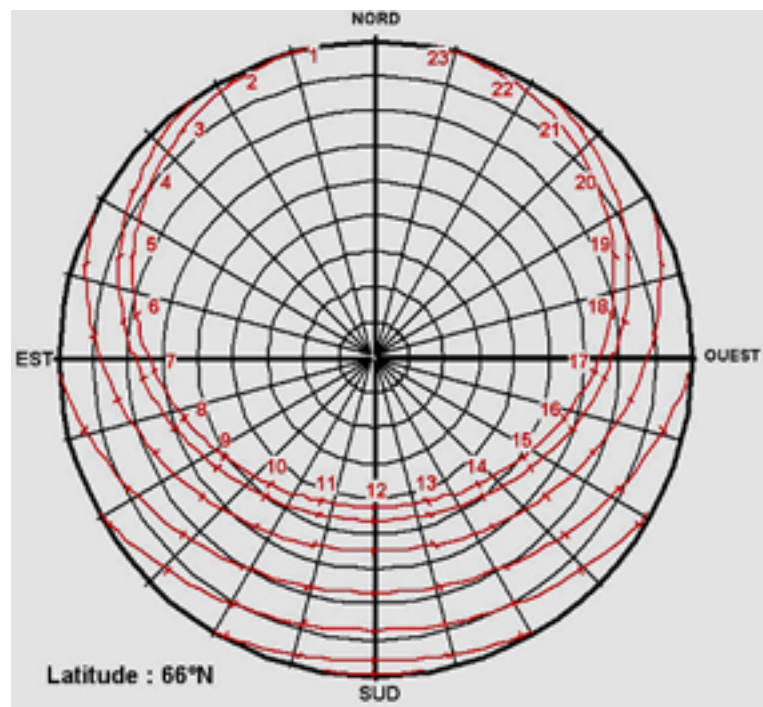
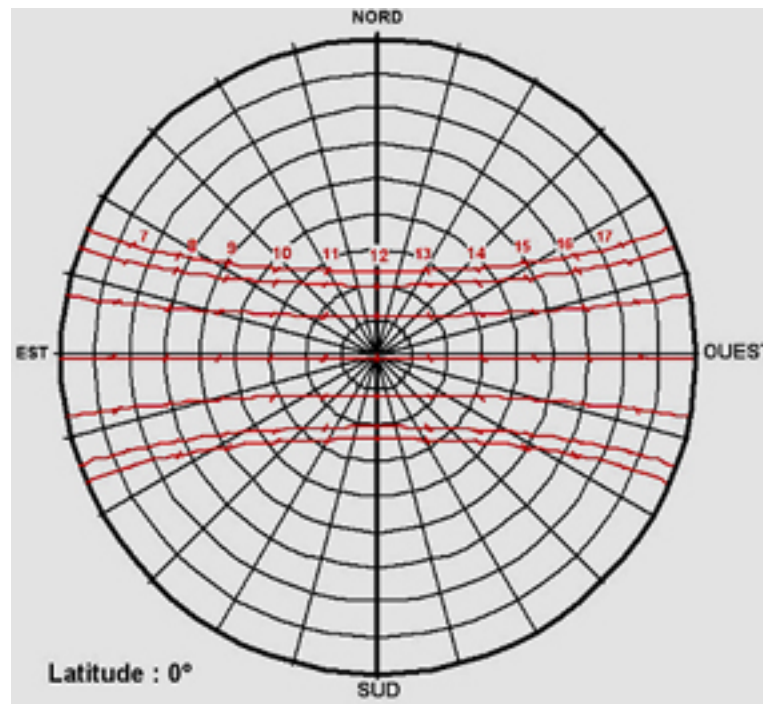


Diagramme solaire de la latitude 45°N



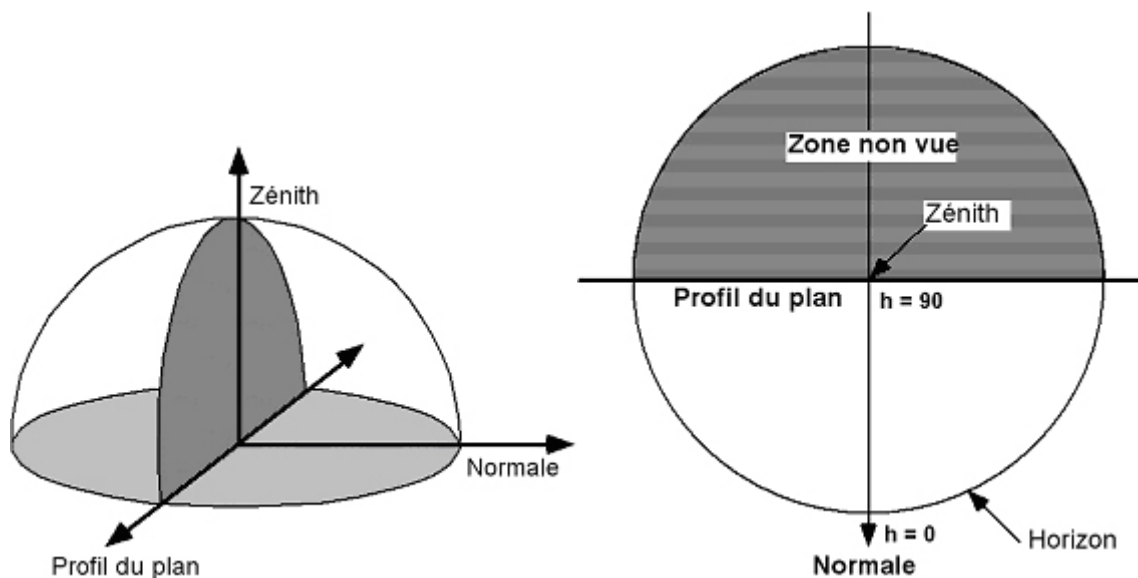
Deux latitudes remarquables : l'équateur (en haut) et le cercle polaire (en bas)

4 - Outils complémentaires des diagrammes solaires

Pour être utiles, les diagrammes solaires doivent être superposés à des traductions angulaires d'éléments tels que la visibilité d'un plan, l'énergie solaire incidente ou le diagramme de transmission d'un masque.

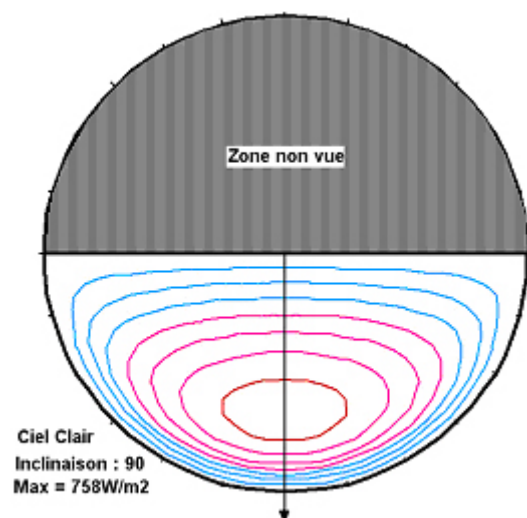
4-1. Visibilité et éclairage solaire d'un plan

Si le plan horizontal est en mesure de « voir » la totalité de la course du soleil dans le ciel, il n'en va pas de même pour un plan incliné et notamment pour le plan vertical. En effet, le plan vertical ne peut « voir » que la moitié de ce que voit le plan horizontal.



Visibilité du plan vertical et sa traduction angulaire

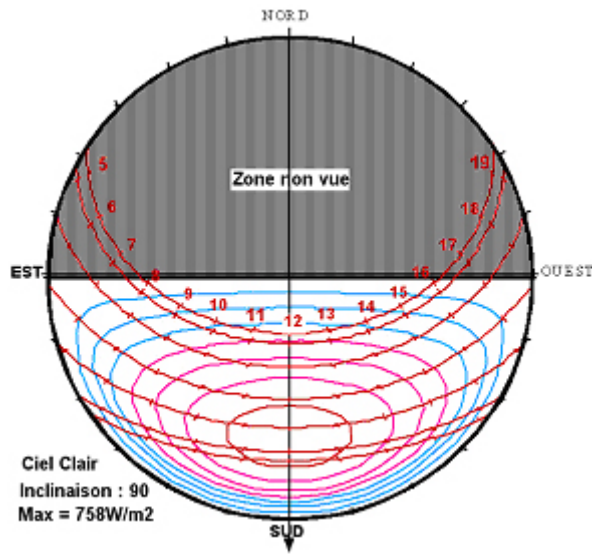
Lorsqu'elle est superposée au diagramme solaire, la « zone non vue » correspond aux heures où le plan est en « ombre propre ».



Mais on peut ajouter une autre information concernant les conditions d'éclairage du plan par le rayonnement solaire. L'énergie solaire reçue par le plan dépend en effet de deux angles : la hauteur du soleil et l'angle d'incidence des rayons solaires, tous deux représentables en projection sphérique. Cela donne le diagramme ci-contre que l'on appelle « **diagramme d'éclairage** » sous la forme de courbes iso-puissance exprimées en W/m^2 .

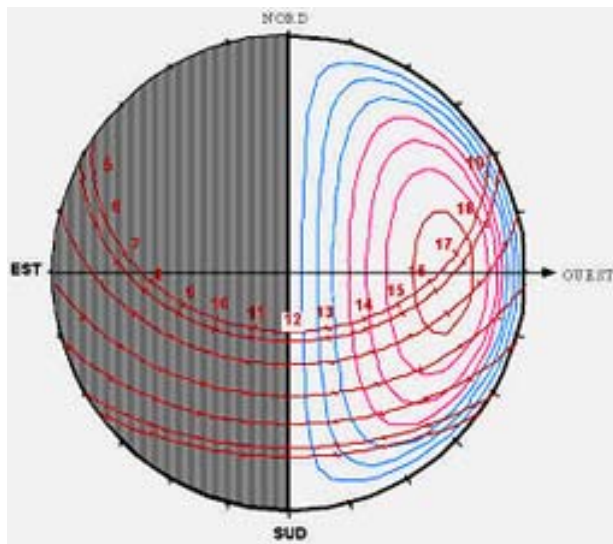
Ci-contre iso-énergie incidente (W/m^2) sur le plan vertical.

4-2. Exposition solaire du plan



La superposition du diagramme d'éclairement et du diagramme solaire révèle l'ensemble du potentiel « énergie solaire incidente » d'un plan dans une orientation donnée.

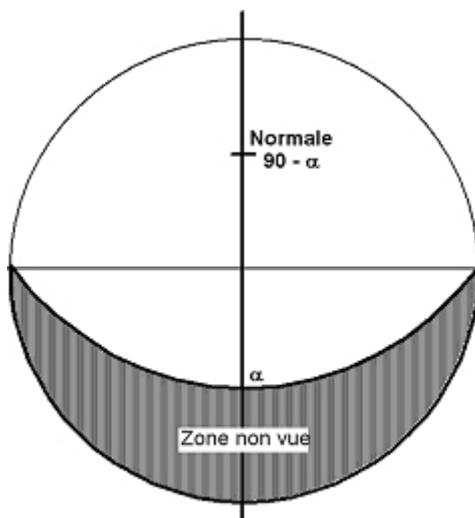
Ci-contre l'éclairement du plan vertical SUD sous la latitude 45°N.



On peut changer d'orientation pour passer à une exposition EST :

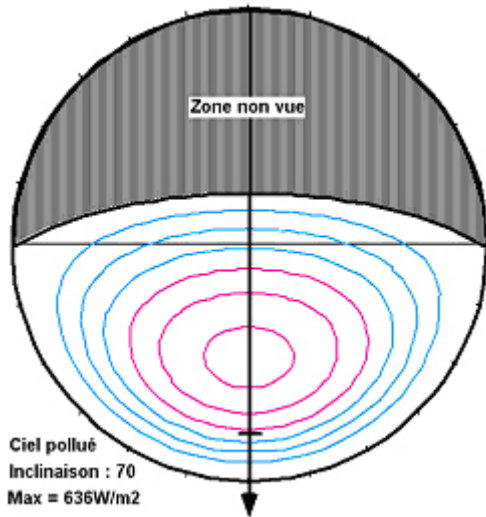
On peut voir les différences que provoquent ces deux expositions du plan vertical sur les dates et heures où se produisent les apports solaires maximum et où le plan est en ombre propre.

Ci-contre l'éclairement du plan vertical OUEST sous la latitude 45°N.



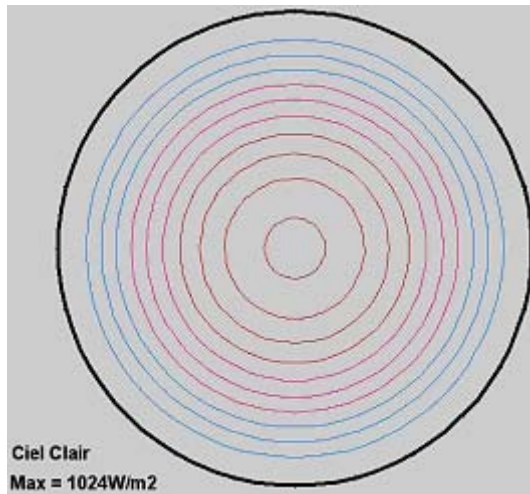
Pour le plan incliné, la visibilité se présente sous la forme d'un croissant dont l'épaisseur maximale est égale à l'inclinaison α .

Ci-contre la visibilité du plan incliné à 45°.



Pour le plan incliné, on peut aussi dessiner les courbes d'iso-énergie incidente et faire les mêmes simulations qu'avec le plan vertical.

Ci-contre iso-énergie incidente (W/m²) sur un plan incliné à 60°.



Le diagramme d'éclairement du plan horizontal est constitué de courbes ayant la forme de cercles concentriques : cela traduit le fait que l'énergie solaire reçue par un plan horizontal ne dépend que de la hauteur du soleil, qui est dans ce cas l'angle complémentaire de l'angle d'incidence α .

Ci-contre iso-énergie incidente (W/m²) sur le plan horizontal.

4-3. Diagramme de transmission d'un masque lointain

Pour compléter les outils graphiques, il reste à représenter les caractéristiques angulaires de transmission solaire des masques lointains et des masques architecturaux. Cela conduit à la production du **diagramme de transmission**.

Masques naturels:

La méthode consiste à dessiner le profil apparent de ces masques. Pour cela, il faut acquérir les données nécessaires à l'établissement du **rapport Altitude/Distance**, qui permet d'obtenir par calcul la hauteur apparente de l'obstacle (avec la fonction arc tangente). Cela peut se faire à l'aide d'un plan côté, ou d'une carte type IGN (1/25000e).

Lorsque dans un azimut donné on a trouvé la distance D (en fonction de l'échelle) et la différence d'altitude H entre le point d'observation et le point visé (par lecture d'une côte ou comptage des courbes de niveau), la hauteur apparente h est donnée par la formule:

$$h = \text{arc tg } H/D$$

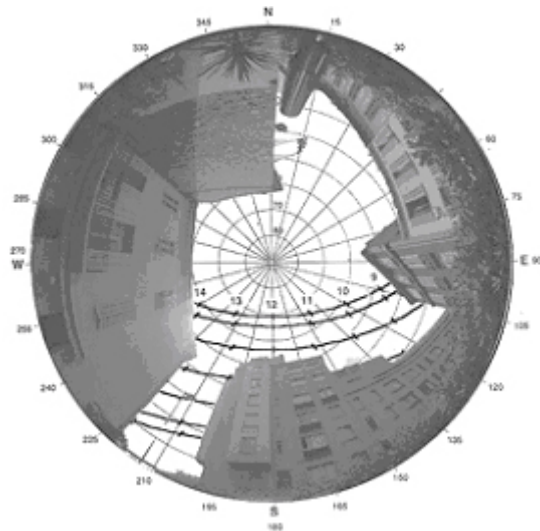
On peut aussi procéder par photographie fish-eye à axe zénithal. Dans ce cas, ne pas oublier de repérer le Nord ou toute autre azimut remarquable.

La photographie fish-eye

Le format des diagramme solaires (projection sphérique zénithale équidistante) est compatible avec la plupart des photographies faites avec un objectif fish-eye, moyennant des précautions lors de la prise de vue (repérage du Nord ou du SUD, vérification de l'horizontalité de l'appareil pour obtenir une vue à axe zénithal).



Exemple de prise de vue avec un objectif fish-eye en milieu urbain

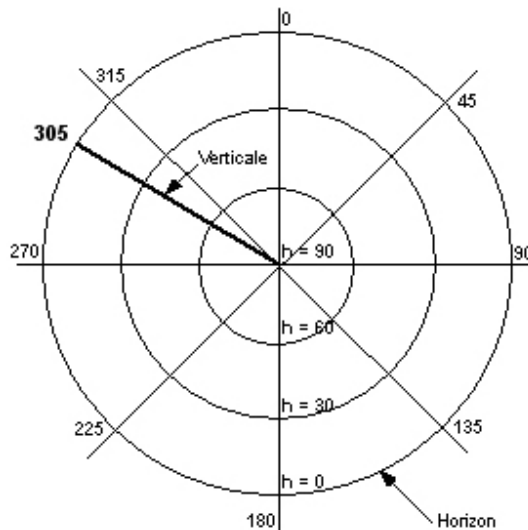


Traitement de la photo précédente après superposition du diagramme solaire du lieu en respectant les orientations

Masques constitués par des bâtiments:

Le plus souvent, les masques les plus importants sont constitués par des bâtiments voisins. A la différence d'un site naturel, un masque provoqué par un édifice a un contour apparent généré principalement par des droites verticales et horizontales. Le dessin du masque requiert donc de savoir dessiner de telles droites en projection sphérique zénithale.

- Dessin d'une verticale : Toute verticale étant le lieu des points vus sous un même azimut, sa représentation en projection sphérique équidistante zénithale est un rayon, ou une fraction de rayon du cercle, selon sa hauteur.



Représentation d'une verticale en projection sphérique zénithale: c'est un rayon du cercle, entier si la verticale est de hauteur infinie. Ici, on a affaire à une verticale dans l'azimut 305°

Dessin d'une horizontale: En perspective, toute demi-droite horizontale "fuit" à l'horizon à l'infini, et une droite horizontale entière possède deux points de fuite. On retrouve ce phénomène dans l'"abaque des horizontales". Celui-ci est constitué d'un faisceau de courbes convergeant vers deux points diamétralement opposés sur le cercle extérieur

(l'horizon, rappelons-le). Ce qui les distingue est donc la hauteur sous lesquelles on les voit en vue frontale (de 10 en 10 degrés sur l'abaque).

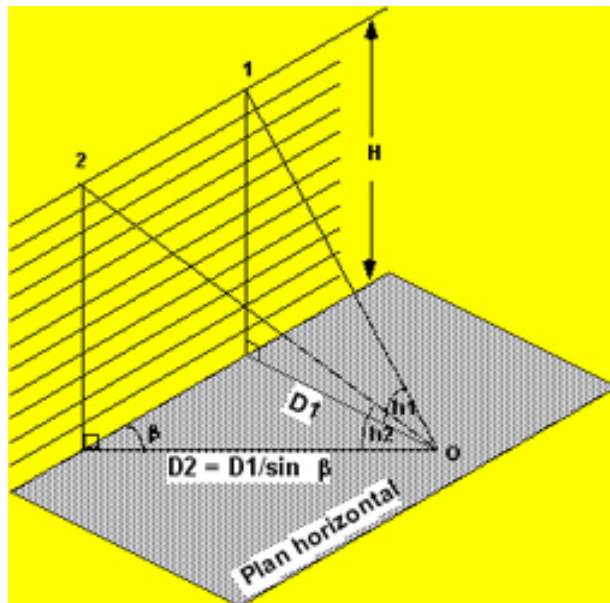
Pour les autres azimuts, la hauteur est égale à :

$$h = \text{arc tg} (H/D1/\cos \beta)$$

ou encore :

$$h = \text{arc tg}(H.\cos \beta /D1)$$

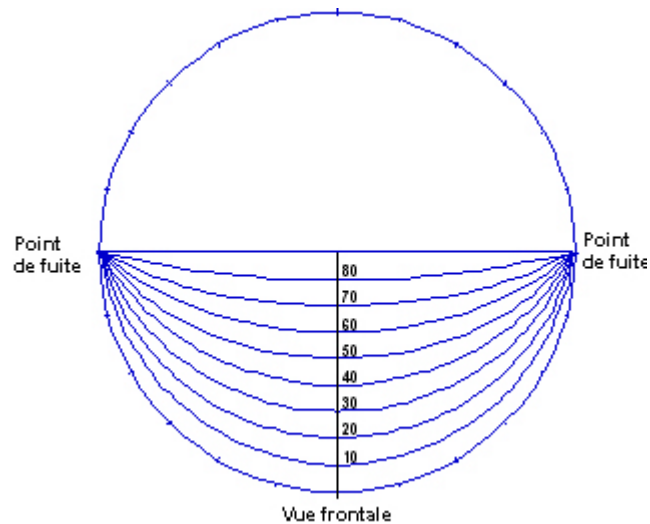
β étant l'angle complémentaire de l'azimut sous lequel on regarde l'horizontale par rapport à la vue frontale.



Horizontales parallèles vues sous des hauteurs différentes:

Une droite étant parfaitement définie par deux points, on peut construire une horizontale:

- soit à partir de deux points quelconques;
- soit à partir d'un seul point si l'on connaît la direction de la droite en azimut.



**Abaque de tracé des horizontales en projection sphérique zénithale:
faisceau d'horizontales vues frontalement sous des hauteurs de 10 en 10°**

4-4. Masques architecturaux: méthode des angles d'occultation.

On appelle **"masque architectural"** toute forme adjacente à une surface réceptrice en situation de lui porter ombre. Le rapport dimensionnel entre cette forme et la surface de réception est tel que l'ombre est susceptible de ne couvrir qu'une partie de la surface; il n'est donc pas possible de dessiner le diagramme de transmission de cette forme à partir d'un point unique représentatif de la surface. Il faudrait en fait découper la surface réceptrice en plusieurs zones et dessiner le profil apparent du masque pour chaque zone. Cela nécessiterait plusieurs dessins, et le problème de l'expression de l'effet global du masque resterait à traiter. C'est pourquoi on utilise une autre méthode plus globale: la **"méthode des angles d'occultation"**.

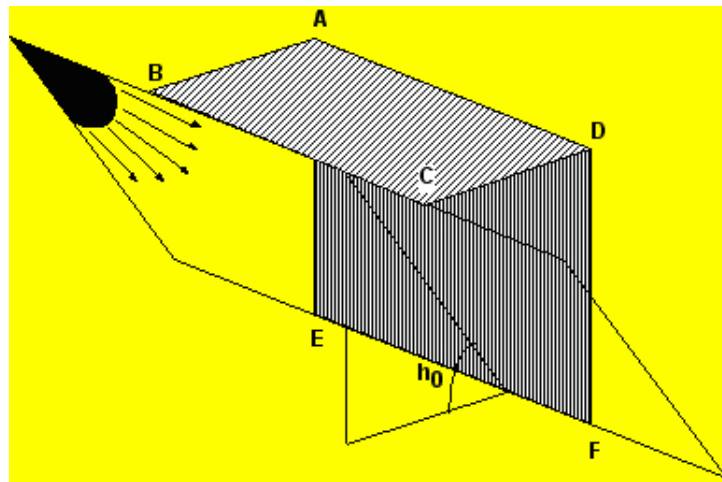
Cette méthode consiste à tracer sur la surface de réception des ombres remarquables et à trouver l'ensemble des positions du soleil qui correspondent à cette ombre. Cela permet de manipuler directement des **"facteurs de transmission"** qui s'appliquent à l'ensemble de la surface considérée, et dont la valeur est donnée par le **rapport Aire éclairée/Aire totale**.

On applique cette méthode aux formes élémentaires telles que l'"**auvent**", les **"flancs"** et le **"vis-à-vis"**, à partir desquelles il est possible de construire les diagrammes de transmission de la **"loggia"** ou du **"patio"**.

Cas de l'auvent

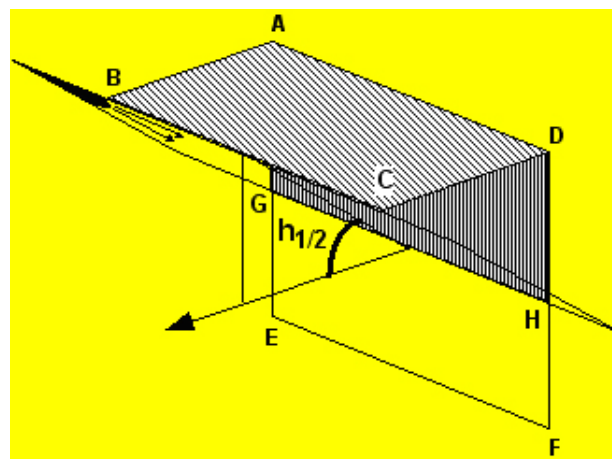
L'auvent est constitué par une avancée horizontale placée au dessus de la surface réceptrice. Les auvents, les débords de toiture, les balcons, les linteaux de fenêtre, les écrans à lames horizontales appartiennent à cette famille.

Sur une vue en coupe, on voit que la surface réceptrice (ou la baie) sera toujours à l'ombre **pour tout rayon du soleil** contenu par le plan défini par la base de la baie et l'extrémité de l'auvent: c'est l'"**angle d'occultation**" (noté h_0 sur la figure suivante).



L'inclinaison du plan défini par les droites BC et EF, est l'angle d'occultation de l'auvent (h_0).

De la même façon, l'ombre qui partage horizontalement la surface réceptrice en deux zones d'aires égales sera maintenue pour tout rayon solaire contenu par le plan défini par la médiane horizontale de la baie et l'extrémité de l'auvent: c'est l'"**angle de transmission 50%**" (ou d'occultation 50%).



L'inclinaison du plan défini par les droites BC et GH, est l'angle de transmission 50% de l'auvent ($h_{1/2}$), puisque la baie est à moitié à l'ombre.

Les courbes qui représentent l'ensemble des positions du soleil provoquant ces ombres sont donc porteuses du facteur de transmission correspondant : 0 pour l'occultation et 0,5 pour la transmission 50%.

Que sont ces courbes?

L'ensemble des positions solaires qui portent juste l'ombre "totale" forment un plan: pour définir un plan, il suffit d'en connaître trois points, ou un point et une droite. En particulier, ce plan sera parfaitement défini par l'horizontale qui sert d'extrémité à l'auvent (BC sur le schéma) et par un point quelconque pris sur la base de la baie (EF). Cela revient à regarder l'horizontale BC depuis ce point. La courbe de transmission "0" sera donc constituée par l'horizontale vue frontalement sous une hauteur égale à l'angle d'occultation h_0 .

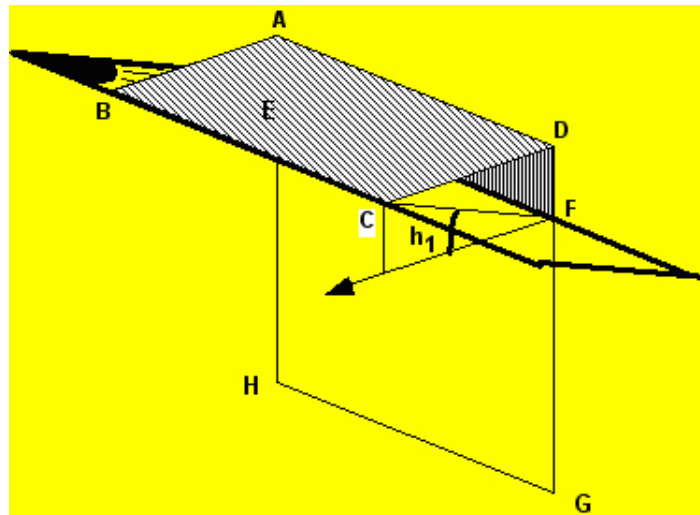
De la même manière, la courbe de transmission "0,5" sera l'horizontale vue frontalement sous une hauteur égale à l'angle $h_{1/2}$.

Jusqu'où se prolongent ces courbes?

Ces courbes iront jusqu'à l'horizon si le masque est de longueur infinie, ou si plus simplement la longueur de l'auvent est nettement plus importante que celle de la baie ou de la surface réceptrice. C'est en général dans cette hypothèse que l'on se situe.

Cas de l'auvent décollé:

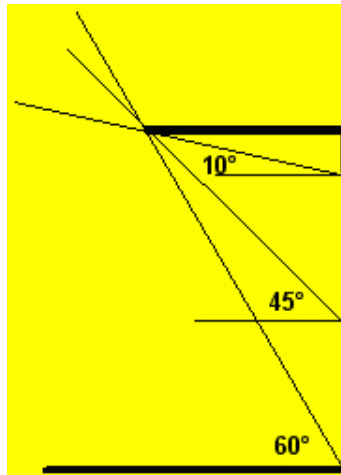
Lorsqu'il y a un espace entre le linteau de la baie et le plan de l'auvent, la méthode est la même, si ce n'est que vient s'ajouter une **iso-transmission 1**. En effet, pour tout rayon solaire contenu dans le plan défini par le linteau de la baie EF et l'extrémité de l'auvent BC, il y a éclairage total de la baie (c'est à dire aucune ombre). L'horizontale vue frontalement sous une hauteur égale à l'angle h_1 est donc porteuse de la courbe de transmission 1.



Cas de l'auvent décollé.

- Diagramme de transmission:

Il est donc constitué par la visibilité du plan vertical (si la surface réceptrice est verticale), des courbes iso-transmission 0, 0,5 et 1 s'il y a lieu, qui sont des horizontales, délimitant des "zones angulaires de transmission": "occultation totale", "transmission < 0,5", "transmission > 0,5" et "transmission totale".



Angles d'occultation d'un auvent décollé.

Prenons un auvent dont les angles sont:

Occultation: $h_0 = 60^\circ$

Transmission 50% : $h_{1/2} = 45^\circ$

Transmission 1: $h_1 = 10^\circ$

La superposition de ce diagramme de transmission et du diagramme solaire d'une latitude donnée et dans une orientation donnée permet de diagnostiquer avec une grande précision tous les effets de contrôle solaire, partout dans le monde.

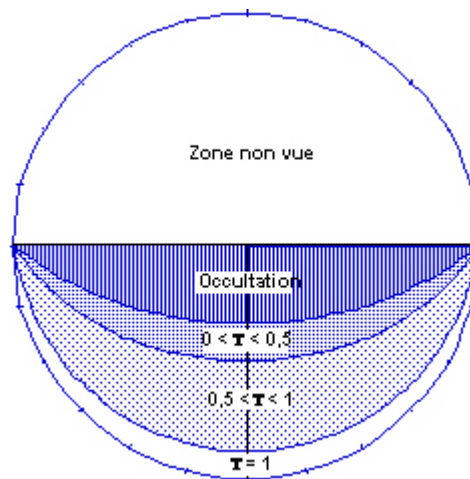
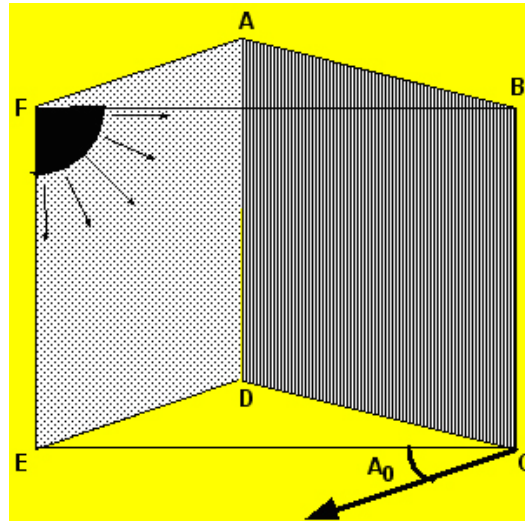


Diagramme de transmission de l'auvent de longueur infinie: courbes iso-transmission et zones de transmission.

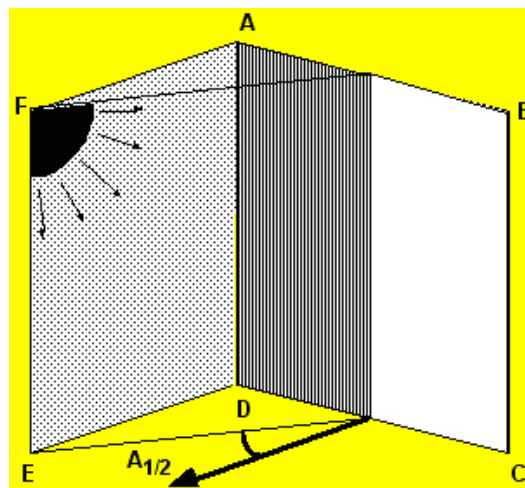
Cas du flanc:

On entend par "flanc", toute saillie de plan vertical par rapport au plan de la baie (ou surface réceptrice); décrochements, refends, tableaux de fenêtre, écrans à lames verticales appartiennent à la famille des flancs.

La méthode générale est la même que celle de l'auvent, à la différence que les angles d'occultation sont cette fois-ci des **azimuts** (et non des hauteurs), que l'on travaille donc en plan (et non en coupe), et que sur le diagramme de transmission, les iso-transmissions ont la forme de droites radiales (et non de courbes d'horizontales).



Angle d'occultation du flanc (de hauteur infinie): c'est un azimut (A_0)

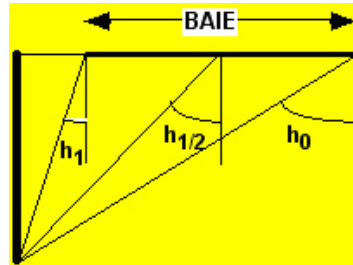


Angle de transmission 50% du flanc de hauteur infinie ($A_{1/2}$).

L'angle d'occultation d'une joue est l'angle que forme la droite joignant l'extrémité de la joue (EF sur la figure) et l'extrémité opposée de la baie (BC) avec la normale au plan de la baie. Cet angle est un azimut; il est inutile de le mesurer ou de le calculer: il se reporte en vraie grandeur sur le diagramme de transmission.

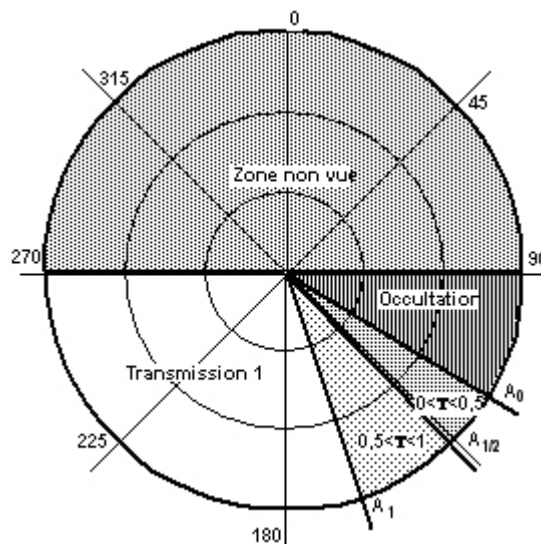
On peut ici aussi trouver un angle de transmission 0,5 ou, en cas de flanc décollé, un angle de transmission 1.

- Diagramme de transmission du flanc:



Angles d'occultation et de transmission d'un flanc décollé en plan

La figure ci-dessus montre le plan d'un flanc décollé, et les angles d'occultation (h_0), de transmission 50% ($h_{1/2}$) et de transmission 1 (h_1). Ces angles se reportent sans calcul sur le diagramme solaire sphérique.



Report des angles du flanc en projection sphérique zénithale: on obtient les zones de transmission pour le flanc de hauteur infinie

Cas des loggias

On considère comme "**loggia**", toute forme architecturale constituée par **un auvent et deux flancs**: la loggia, l'ensemble **tableaux + linteau d'une fenêtre**, des **écrans à lames croisées** sont assimilables à des loggias.

La méthode consiste à décomposer une loggia en un auvent et deux flancs de longueur infinie. On se ramène donc aux deux cas précédents dans leur version la plus simple, et l'on compose le diagramme de transmission par superposition des deux diagrammes. Dans ce cas, il n'y donc aucun effet de bord à rechercher (ce qu'en toute rigueur il faudrait faire pour les masque « finis »).

- Diagramme de transmission de la loggia:

On met en place successivement les courbes iso-transmission de l'auvent infini et des deux flancs infinis et on applique la règle suivante:

"A l'intersection des courbes iso-transmission des deux systèmes, le facteur de transmission est égal au produit des deux facteurs de transmission".

Par exemple, à l'intersection de la transmission 0,5 de l'auvent et de celle du flanc, la transmission vaut $0,5 \times 0,5 = 0,25$.

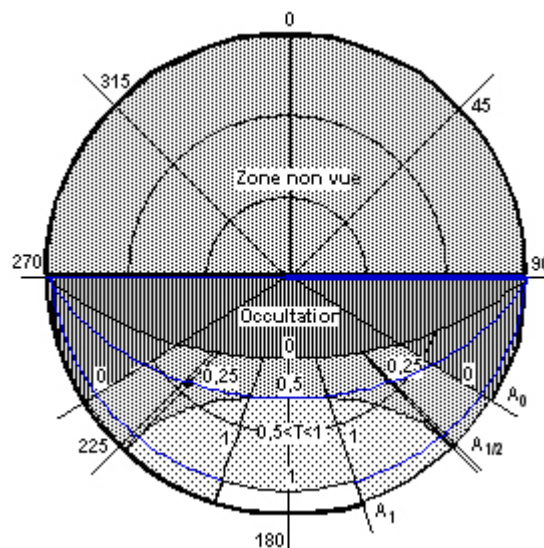


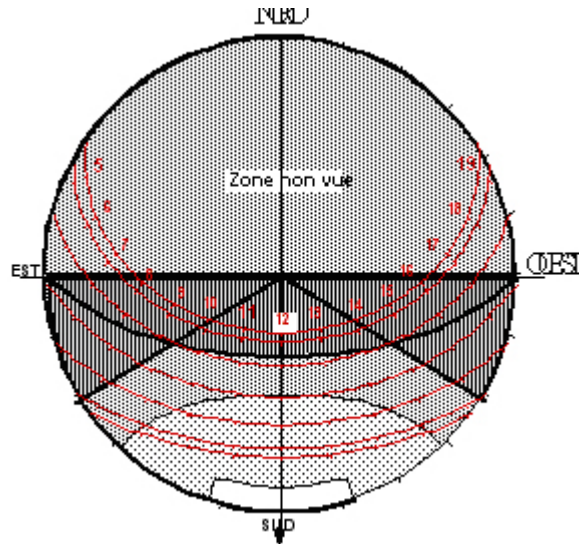
Diagramme de transmission de la loggia composée par l'auvent et les flanc précédents.

Le diagramme de transmission est donc l'intersection interprétée des diagrammes de transmission de l'auvent de des flancs.

Bilan d'éclairage à travers un masque

Le bilan d'éclairage d'une surface contigüe à un masque se fait en juxtaposant le diagramme de transmission et un diagramme solaire. Pour tenir compte de l'orientation, il faut faire coïncider la normale au plan avec l'azimut de l'orientation choisie.

Orientation SUD.



Bilan d'éclairage solaire annuel de la baie en fond de loggia pour l'orientation SUD: superposition du masque sur le diagramme solaire avec l'azimut SUD.

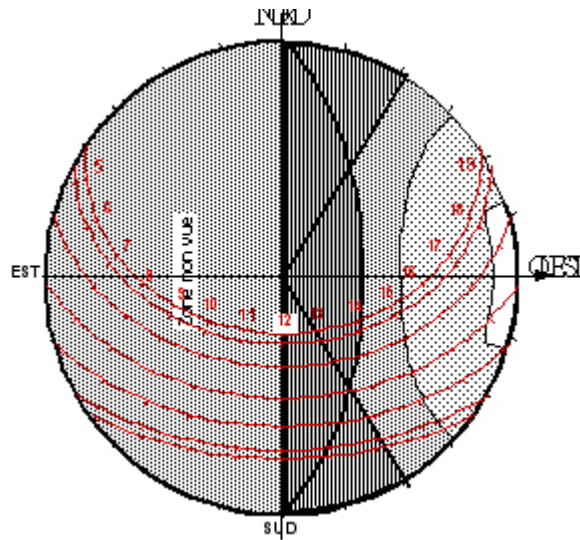
Le bilan s'établit chaque heure: la position du soleil peut être située par rapport aux courbes iso-transmission, avec une interpolation linéaire si nécessaire.

L'orientation SUD de la loggia étudiée ci-dessus conduit au bilan suivant:

- Baie à l'ombre toute la journée en Juin, Mai-Juillet, et pratiquement aussi, en Avril-Août.
- Baie éclairée à moins de 50% en Mars-Septembre
- Baie éclairée à plus de 50% en Février-Octobre, Janvier-Novembre et Décembre.

On retrouve bien là les résultats publiés dans l'article « La protection solaire architecturale » : **une loggia est très adaptée à l'exposition SUD.**

Orientation EST/OUEST :



Bilan d'éclairage solaire annuel de la baie en fond de loggia pour l'orientation OUEST:

Le bilan en orientation OUEST est très différent:

- Baie entièrement à l'ombre de 12h à 14h pratiquement toute l'année.
- Baie éclairée à moins de 50% entre 14 et 15h en quasiment toute l'année;
- Baie éclairée à plus de 50% entre 15h et 17h en été, jusqu'au coucher de soleil le reste de l'année.
- Baie éclairée à 100% entre 18 et 19h en été.

Ce bilan est nettement moins performant qu'en exposition SUD..

On peut aussi superposer le diagramme iso-énergie, et savoir quelle énergie incidente est partiellement transmise ou occultée.

N.B. : L'OUEST est à droite dans le diagramme utilisé ci-dessus car on utilise la version des diagrammes compatible avec le photo fish-eye qui est une vue du bas vers le haut et non du haut vers le bas comme la représentation des architectes.

5 - Génération d'une protection solaire:

Nous savons comment construire le diagramme de transmission d'un masque architectural. Le masque est une "entrée" et le diagramme de transmission une "sortie" de l'opération.

Mais il est possible aussi de partir d'une exigence de protection solaire (ou de captage solaire), pour déterminer la géométrie d'un masque architectural requis. Dans ce cas, le diagramme est une "entrée", et le masque une "sortie".

Principe de la méthode:

Point de départ obligé: une **Latitude**, une **inclinaison de plan**, une **orientation** de ce plan. Un diagnostic de la situation doit être fait à partir de ces éléments: en fonction du climat du site (températures mensuelles, par exemple, on dessine sur le diagramme d'irradiation du plan orienté les périodes de l'année où le soleil doit être occulté, et, éventuellement, celles où, au contraire, il est recherché. Cela correspondra sur le diagramme de transmission requis, aux angles "**à occulter**" et aux angles "**à voir**".

L'étape suivante consiste à tracer les courbes de transmission (occultation-transmission partielle) qui "couvrent" ces zones. Le choix est à faire entre les "horizontales" et les "verticales", que l'on a appris à tracer. Le positionnement de ces courbes donne un diagramme de transmission.

La dernière étape consiste à construire le masque à partir de son diagramme de transmission, en levant certaines indéterminations.

Traitement d'un exemple:

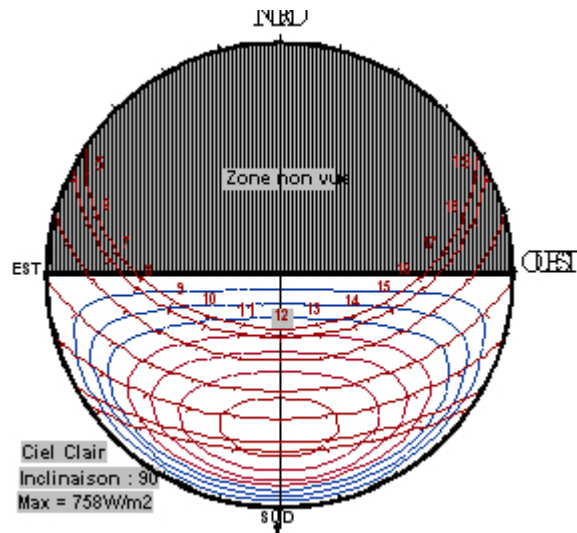
Soit par exemple à construire un masque pour un plan vertical orienté SUD sous la latitude 45°, avec un cahier des charges basé sur la protection solaire d'été, et la captage solaire d'hiver.

- Etape 1: le diagnostic:

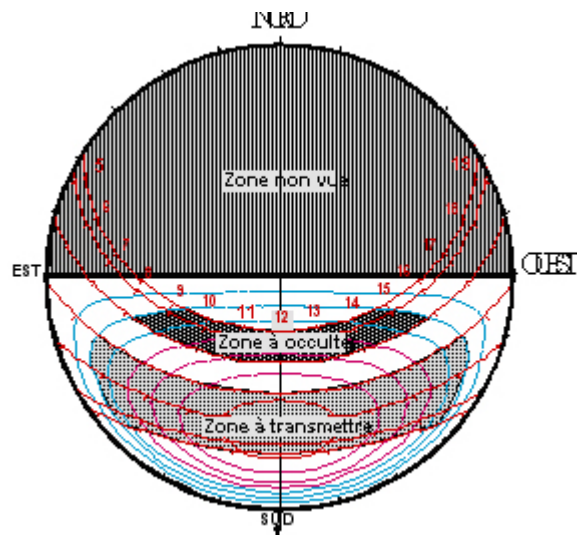
Mise en superposition du diagramme solaire 45°, et du diagramme énergétique du plan vertical en orientation SUD..

En plaine, il faut en général éviter les apports solaires de Juillet et Août; la symétrie des courbes solaires entraîne donc également une protection en Avril, Mai, et aussi en Juin. En mettant un seuil sur la puissance solaire admissible (par exemple à 200W/m²), et en demandant une protection totale du 20 Avril au 20 Août, on détermine une zone angulaire "à occulter" (figure suivante).

De même, en hiver, on a besoin de l'énergie solaire en Décembre, Janvier, Février et Mars; par symétrie, on peut délimiter une période de captage allant du 20 Septembre au 20 Mars: c'est la zone angulaire "à transmettre", avec une puissance de seuil "utile" de 200W/m².



Bilan de l'énergie reçue par un plan vertical SUD sous la latitude 45°

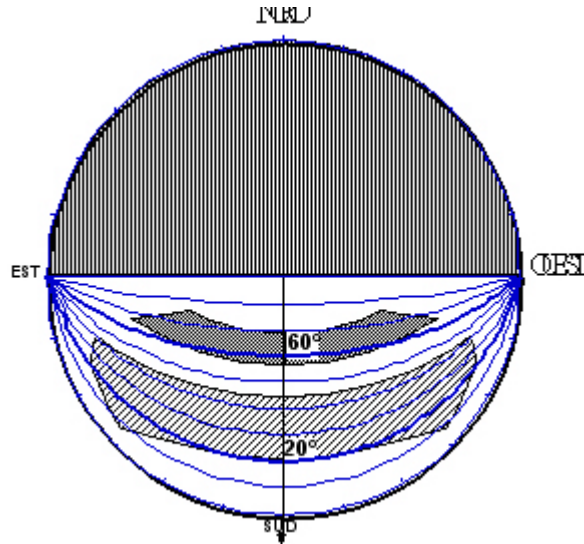


Détermination des zones "à occulter" et "à transmettre" par le masque recherché.

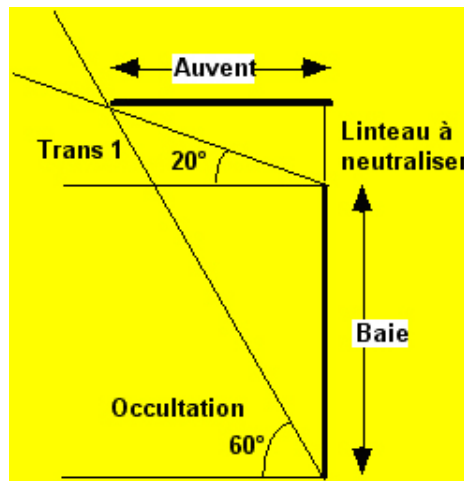
- Etape 2: Etablissement du diagramme de transmission:

On sait, grâce à ce qui précède, qu'une avancée horizontale permet de protéger une paroi verticale Sud en été, et de l'éclairer en hiver: c'est donc avec des horizontales que l'on doit générer le masque recherché.

La superposition de l'abaque des horizontales et du diagramme de visibilité du plan vertical permet de choisir deux horizontales répondant au programme.



Horizontales répondant au programme: 60° pour l'occultation et 20° pour la transmission 1

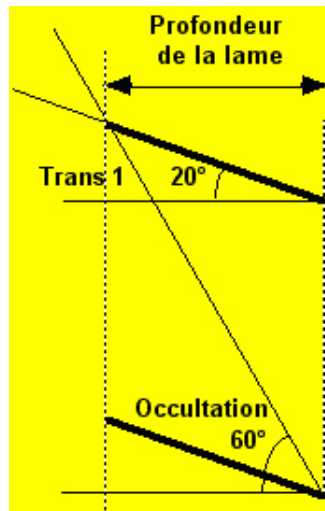


Réponse architecturale au diagramme de transmission: un auvent décollé.

- Etape 3: construction de l'objet architectural:

Le résultat recherché est un **auvent tel que l'angle d'occultation soit de 60°** , et l'angle de transmission 1 de 20° . Cette configuration génère des transmissions intermédiaires (par exemple 0,5) que l'on peut retrouver en coupe et reporter sur le diagramme de transmission. Si cela ne convient pas, on peut choisir un autre angle de transmission 1 ou d'occultation.

Mais une autre solution est possible: **un écran à lames à axe horizontal inclinées à 20°** , présentant un angle d'occultation de 60° .



Autre solution: un écran à lames à axe horizontal avec lames inclinées à 20° et occultation à 60° .

6 – Conclusion

Les diagrammes solaires, malgré leur approche paraissant au premier abord complexe, permettent de montrer facilement avec les outils graphiques qui leur sont associés la plupart des phénomènes solaires en interaction avec la géométrie des bâtiments. Ils sont faits pour répondre à la question « *A quels moments dans l'année une partie du bâtiment est-elle ensoleillée ou à l'ombre ?* ».

Ils constituent un outil pédagogique et même un outil opérationnel dès lors que l'on recherche une forme appropriée pour répondre à une exigence précise de protection/captage solaire. Par contre, ils ne fournissent pas une valeur numérique de transmission récupérable dans un logiciel de calcul des performances thermiques d'un bâtiment en été (ou en hiver).

L' utilisation des diagrammes solaires est très opérationnelle si l'on a recours à la photographie fish-eye pour saisir les masques naturels d'un site.

D'autres moyens plus modernes (informatisés) peuvent bien sûr être envisagés, à condition qu'ils ne se transforment pas en « boîte noire » dont le concepteur ne peut qu'accepter le verdict sans aucun moyen de vérification.

7 - Bibliographie

Parmi les ouvrages traitant de la course apparente du soleil et de la protection solaire, on peut citer :

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'aéraulique 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 !

Edward MAZRIA : « *Guide de l'énergie solaire passive* » ; Traduction Pierre BAZAN ; Editions Parenthèses, Marseille, 1981, réédition 2005.

Un best-seller de la littérature relative à l'architecture bioclimatique et « solaire passive ». Un gros effort d'explication pédagogique par un architecte américain expert en la matière.

A. Monem SALEH, « *Solar geometry in architecture* » Thèse développée au Department of Architectural Science, University of Sydney, 1981.

Recueil complet de diagrammes solaires, en particulier sous la forme d'abaques de l'ombre du mât » (gnomon). Pour les curieux.

A. HUFTY et M. THERIAULT, « *Atlas d'abaques pour le calcul du rayonnement solaire par beau temps* », Laboratoire de climatologie, Département de géographie, Université Laval, Québec, Canada, 1983.

Recueil de diagrammes solaires toutes latitudes en version cylindrique avec prise en compte de l'heure solaire vraie (phénomène non pris en compte dans notre article).

Jean-Louis IZARD, « *Contrôle de l'ensoleillement et de la lumière en architecture* », Polycopié ENSA-Marseille, 1994-1998.

Document d'où est tirée une grande partie du présent article.

CORRIGE DU TEST D'ENTREE

A1: *La hauteur angulaire du soleil à midi à l'équinoxe est égale à la latitude du lieu.* **FAUX (B)**

Non, c'est l'angle complémentaire de la Latitude

A2: *Le soleil se lève toujours à l'EST (Azimut = 90°) et se couche toujours à l'OUEST (Azimut = 270°) tout au long de l'année.* **FAUX (B)**

Cela n'arrive que les deux jours d'équinoxe (21 mars et 21 septembre). Aux autres dates, les azimuts des levers et des couchers du soleil s'écartent de cette direction, jusqu'à plus de 30° de part et d'autre, soit une amplitude d'azimuts de plus de 60° pendant l'année.

A3: *Sous notre latitude de 43°Nord, une façade NORD ne voit jamais le soleil pendant l'année.* **FAUX (B)**

Au solstice d'été, sous notre latitude, une façade NORD voit le soleil pendant 6 heures (3 le matin et 3 le soir), c'est à dire à peine moins qu'une façade SUD le reste de la journée (8 heures).

A4: *Sous notre latitude de 43°Nord, une toiture inclinée à 60° orientée plein NORD voit le soleil toute la journée en été.* **VRAI (A).**

Au solstice d'été, sous notre latitude, une toiture inclinée à 60° au NORD reçoit le rayonnement solaire du lever au coucher, soit pendant 14 heures.