

# Ensoleillement

 [energieplus-lesite.be/theories/climat8/ensoleillement-d8/](https://energieplus-lesite.be/theories/climat8/ensoleillement-d8/)

September 22, 2010



## Le rayonnement solaire

En tant que source d'énergie, l'ensoleillement est un facteur climatique dont on a intérêt à tirer parti (de manière passive, via les ouvertures vitrées, et/ou de manière active pour produire de l'énergie) mais dont on doit aussi parfois se protéger pour éviter les surchauffes en été.

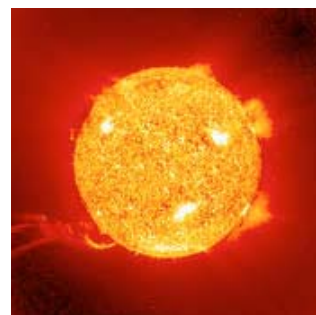
La maîtrise de l'énergie solaire nécessite donc de connaître la position correcte du soleil (hauteur et azimut) ainsi que l'intensité du rayonnement à tout moment.

## Une énergie renouvelable, inépuisable à l'échelle humaine

Le soleil est un réacteur à fusion nucléaire qui fonctionne depuis 5 milliards d'années.

Par un processus de transformation d'hydrogène en hélium, il émet ainsi d'énormes quantités d'énergie dans l'espace (sa puissance est estimée à 63 500 kW/m<sup>2</sup>). Ces radiations s'échappent dans toutes les directions et voyagent à travers l'espace à la vitesse constante de 300 000 km à la seconde, dénommée vitesse de la lumière.

Après avoir parcouru une distance d'environ 150 millions de kilomètres, l'irradiation solaire arrive à l'extérieur de l'atmosphère de la Terre avec une puissance d'environ 1 367 W/m<sup>2</sup>. C'est ce qu'on appelle la constante solaire. La Terre, une petite boule comparée au Soleil, intercepte une si faible partie de l'énergie radiante du soleil que les rayons du soleil ainsi stoppés paraissent constituer un faisceau parallèle.



Énergie la plus abondante sur Terre, l'énergie solaire est à l'origine du cycle de l'eau, du vent et de la photosynthèse, elle-même à l'origine des énergies fossiles. C'est l'ensemble de la vie sur Terre qui

dépend de cette source énergétique. Heureusement pour l'humanité, selon les astronomes, le soleil ne devrait pas s'éteindre avant 5 autres milliards d'années.

### Une énergie de flux, diffuse et intermittente

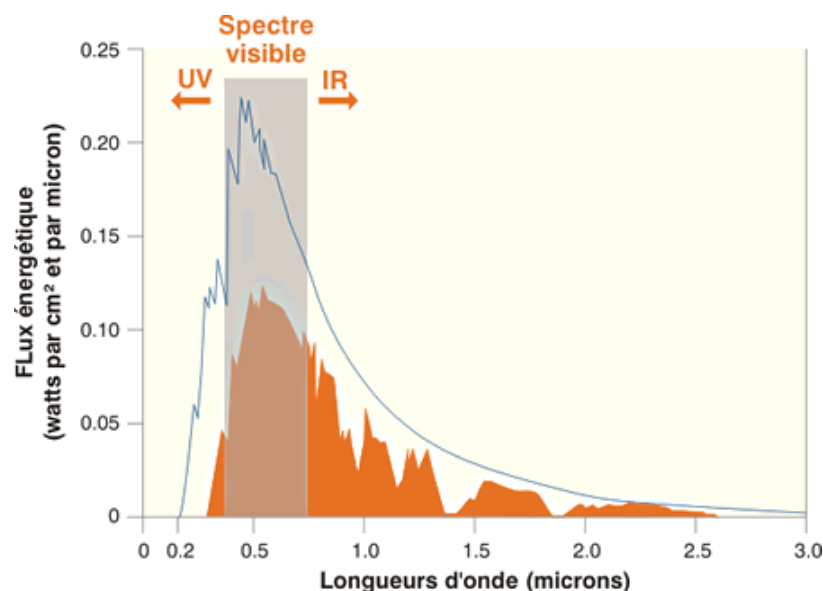
Les théories actuelles présentent le rayonnement solaire comme une émission de particules. Ce flux de particules, appelées photons, atteint la terre avec différentes longueurs d'ondes à la quelle correspond une énergie spécifique décrite par la relation :

$$E [J] = h\nu = h \cdot c/\lambda$$

Avec,

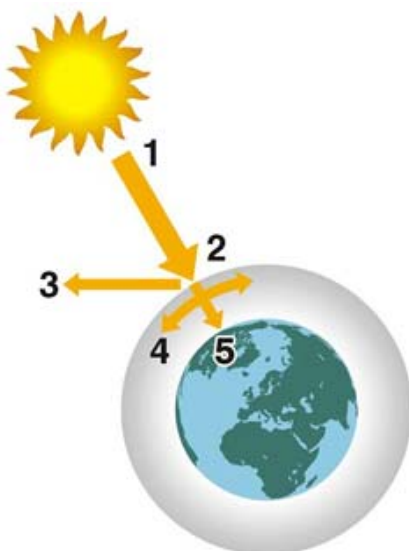
- $\lambda$  : longueur d'onde [m].
- $\nu$  : fréquence [Hz].
- $c$  : vitesse de la lumière [m/s].

La répartition énergétique des différentes longueurs d'ondes du rayonnement électromagnétique du Soleil est appelé spectre solaire.



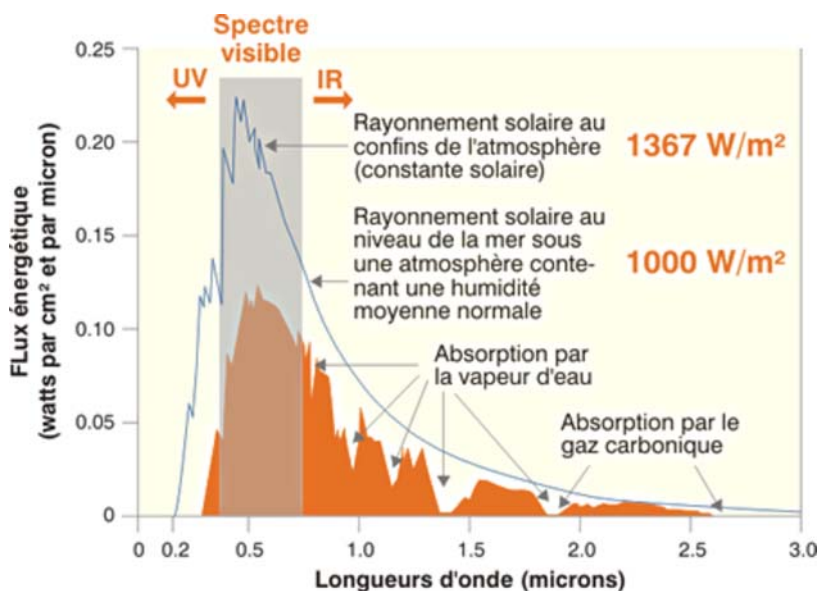
Avec sa température d'émission de 5 500°C, le soleil rayonne la plus grande partie de son énergie dans les hautes fréquences (courtes longueurs d'onde).

La lumière visible représente 46 % de l'énergie totale émise par le soleil. 49 % du rayonnement énergétique émis par le soleil se situe au-delà du rouge visible, dans l'infrarouge. C'est ce rayonnement que nous ressentons comme une onde de chaleur. Le reste du rayonnement solaire, l'ultraviolet, représente l'ensemble des radiations de longueur d'onde inférieure à celle de l'extrémité violette du spectre visible.



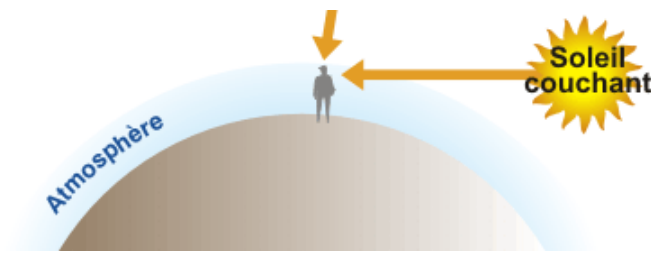
1. Puissance émise par le soleil : 63 500 kW/m<sup>2</sup>.
2. Constante solaire : 1 370 W/m<sup>2</sup>.
3. Rayonnement réfléchi.
4. Rayonnement absorbé et diffusé.
5. Rayonnement solaire à la surface de la Terre (max : 1 000 W/m<sup>2</sup>).

Au moins 35 % du rayonnement solaire intercepté par la Terre et son atmosphère sont réfléchis vers l'espace. Une partie du rayonnement qui atteint la Terre a été diffusée dans toutes les directions au cours de la traversée de l'atmosphère, en rencontrant des molécules d'air, des aérosols et des particules de poussière (c'est ce rayonnement diffus, appartenant notamment à la frange bleue du spectre visible qui est responsable de la couleur bleue du ciel clair). D'autre part, la vapeur d'eau, le gaz carbonique et l'ozone de l'atmosphère absorbent 10 à 15 % du rayonnement solaire. Le reste du rayonnement atteint directement la surface.



Outre la composition de l'atmosphère, le facteur le plus important pour évaluer la quantité du rayonnement solaire qui atteint la surface de la Terre est l'épaisseur d'atmosphère que le rayonnement doit traverser.

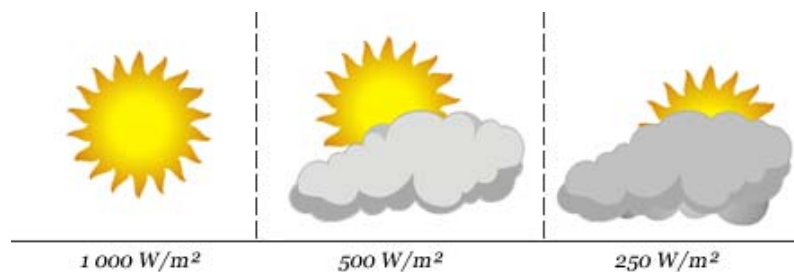




Au milieu du jour, le Soleil est au-dessus de nos têtes, et ses rayons ont à traverser une épaisseur d'air moindre avant d'arriver sur Terre. Mais au début et à la fin de la journée, le Soleil est bas sur l'horizon ; la traversée de l'atmosphère se fait alors plus longue. L'atmosphère absorbe et diffuse d'autant plus de particules de lumière qu'elle est plus épaisse et plus dense. Ainsi, au coucher du Soleil, les rayons sont suffisamment affaiblis pour permettre à l'œil humain de fixer le Soleil sans trop d'éblouissement. Par contre, lorsque l'altitude augmente, la couche d'atmosphère à traverser est plus réduite : dans les sites de montagnes, l'intensité du rayonnement augmente sensiblement.

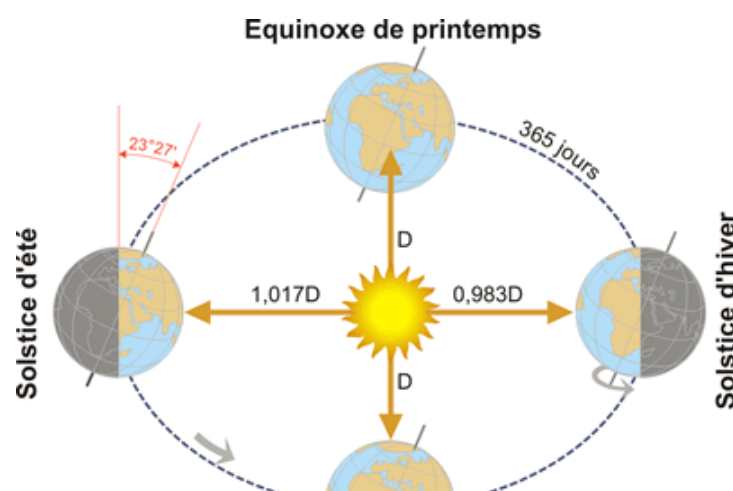
L'épaisseur d'atmosphère traversée influence donc le spectre lumineux reçu. Les normes internationales définissent différents types de spectre : AM1 (pour air mass 1, lorsque le rayonnement a traversé une épaisseur d'atmosphère), AM0 (spectre à la surface externe de l'atmosphère), AM1.5 (spectre utilisé pour les tests standardisés des panneaux solaires correspondant à la traversée d'une atmosphère et demie).

Le rayonnement solaire reçu sur une surface varie donc au cours du temps en fonction de la position du Soleil et de la couverture nuageuse. La puissance solaire maximale à la surface de la Terre est d'environ  $1\,000\text{ W/m}^2$  pour une surface perpendiculaire aux rayons.



Puissance solaire pour différents ciels.

## Le mouvement Terre-Soleil

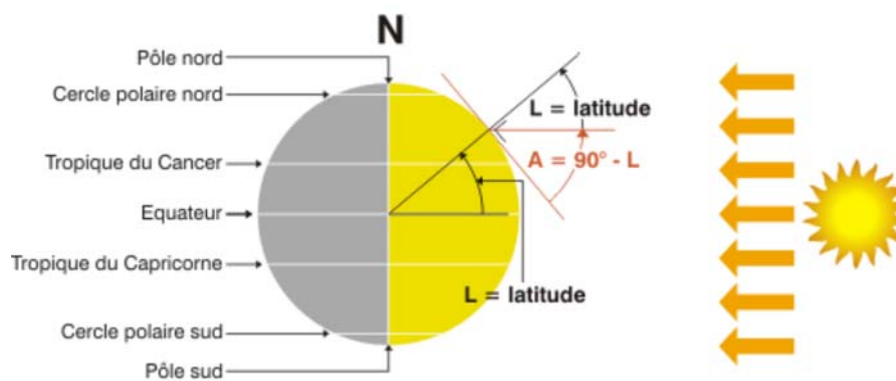






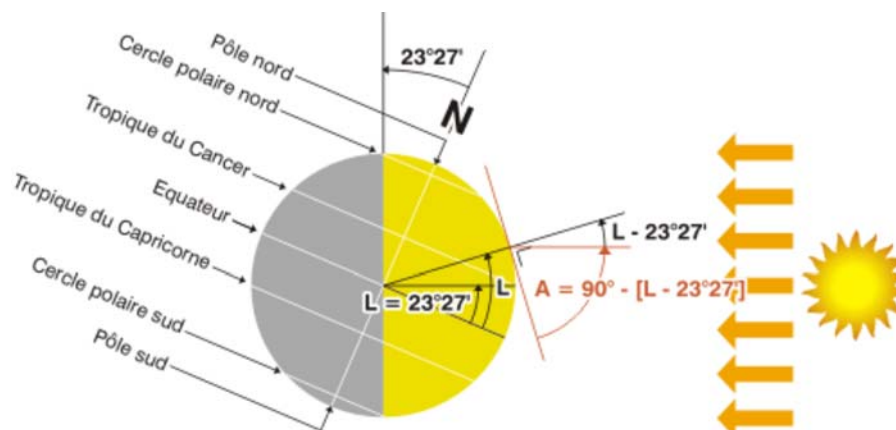
La course de la Terre autour du Soleil décrit une ellipse légèrement aplatie. Dans cette ronde annuelle autour du Soleil, la Terre effectue un tour complet sur elle-même en 24 heures autour de l'axe des pôles. Cet axe nord – sud fait un angle de  $23^{\circ}27'$  avec la direction perpendiculaire au plan de l'orbite terrestre autour du Soleil.

Cette inclinaison est constante tout au long de la course autour du Soleil et est responsable des variations saisonnières. Ainsi pendant nos mois d'hiver, en hémisphère nord la durée d'insolation est relativement courte et le Soleil ne monte pas très haut dans le ciel, tandis que l'été règne sur l'hémisphère sud. Pendant nos mois d'été, la situation est inversée, l'hémisphère nord est tourné vers le Soleil. Les jours sont alors plus longs que les nuits dans l'hémisphère nord et le rayonnement incident se rapproche de la verticale.



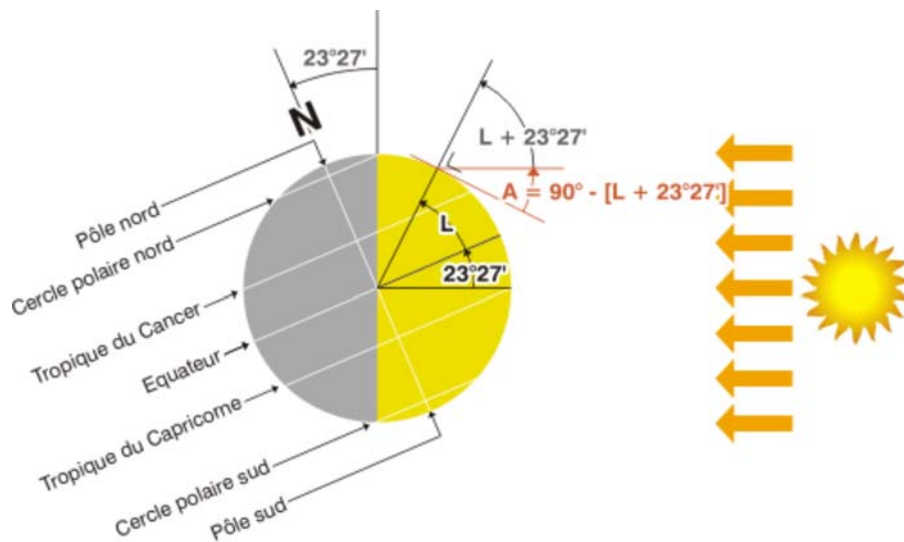
Aux équinoxes de printemps et d'automne (21 mars, 21 septembre), à midi, le rayonnement est perpendiculaire à l'équateur (latitude  $0^{\circ}$ ) et partout sur le globe, les jours et les nuits sont de durée égale. C'est à ce moment que la hauteur du Soleil à midi est la plus facile à calculer. En effet, sa hauteur est égale à l'angle complémentaire de la latitude.

$$H = 90^{\circ} - L$$



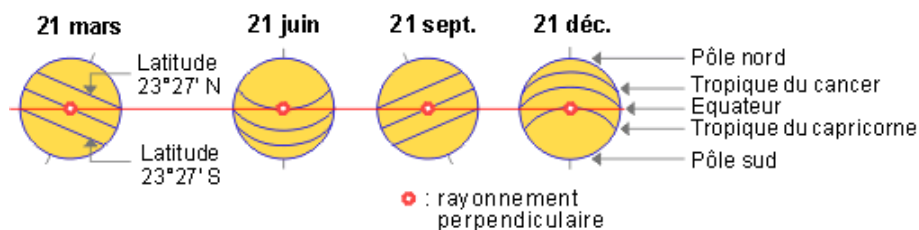
Au solstice d'été (21 juin), la terre est inclinée vers les rayons solaires et, à midi, ceux-ci sont perpendiculaires au tropique du cancer (latitude  $23^{\circ}27' \text{ N}$ ). Le Soleil ne se couche jamais dans les régions du globe situées à l'intérieur du cercle arctique (celui-ci se trouvant  $23^{\circ}27'$  au-dessous du pôle Nord). Une personne vivant à la latitude de  $66^{\circ}33' \text{ N}$  ( $90^{\circ} - 23^{\circ}27'$ ) devrait veiller jusqu'à minuit pour voir le Soleil se promener aux alentours du nord, s'abaisser jusqu'à toucher l'horizon et commencer à s'élever de nouveau vers le secteur est du ciel. La hauteur du Soleil à midi (solaire) est de  $23^{\circ}27'$  supérieure à celle de l'équinoxe.

$$H = 90^{\circ} - L + 23^{\circ}27'$$



Au solstice d'hiver (22 décembre), l'angle d'inclinaison est inversé et c'est le tropique du capricorne (latitude  $23^{\circ}27' \text{ S}$ ) qui bénéficie d'un rayonnement perpendiculaire. La hauteur du Soleil à midi est de  $23^{\circ}27'$  inférieure à celle de l'équinoxe.

$$H = 90^{\circ} - L - 23^{\circ}27'$$



## Le mouvement apparent du Soleil

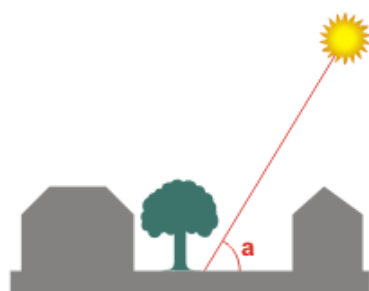
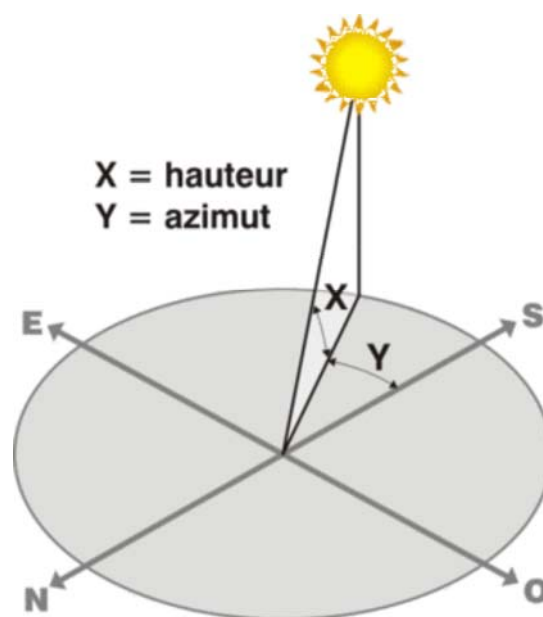
Pour bien comprendre et utiliser l'influence du Soleil dans le choix et le traitement d'un site, il faut bien sûr connaître à tout instant la position du Soleil dans le ciel. Cette information est indispensable pour le calcul des apports solaires, pour le choix de l'exposition d'un immeuble, l'implantation de systèmes actifs solaires (thermique ou photovoltaïque), l'aménagement des parties extérieures voisines, l'éclairage naturel des pièces intérieures, l'emplacement des fenêtres, des protections solaires et de la végétation, etc.

À un instant donné, la hauteur et l'azimut du Soleil déterminent la position du Soleil dans le ciel. Ainsi est connue la direction du rayonnement solaire et peuvent être calculées les surfaces ensoleillées du bâtiment. Ces calculs tiendront compte des effets d'ombrage dus au relief, au cadre bâti, à la végétation ou au bâtiment lui-même.

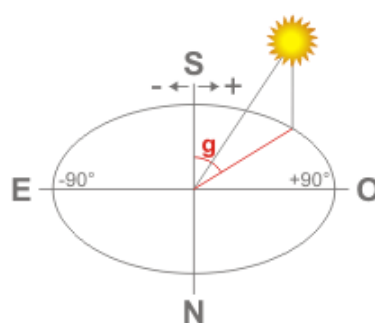
En un lieu,

La hauteur “  $\alpha$  ” du Soleil est l'angle que fait la direction du Soleil avec le plan horizontal. Elle se compte de  $0^\circ$  à  $90^\circ$  à partir de l'horizon vers la voûte céleste.

L'azimut “  $\gamma$  ” du Soleil est l'angle créé entre le plan vertical passant à la fois par le Soleil et par le lieu considéré, et le plan vertical N-S. Cet angle vaut  $0^\circ$  au sud et est conventionnellement positif vers l'ouest et négatif vers l'est.

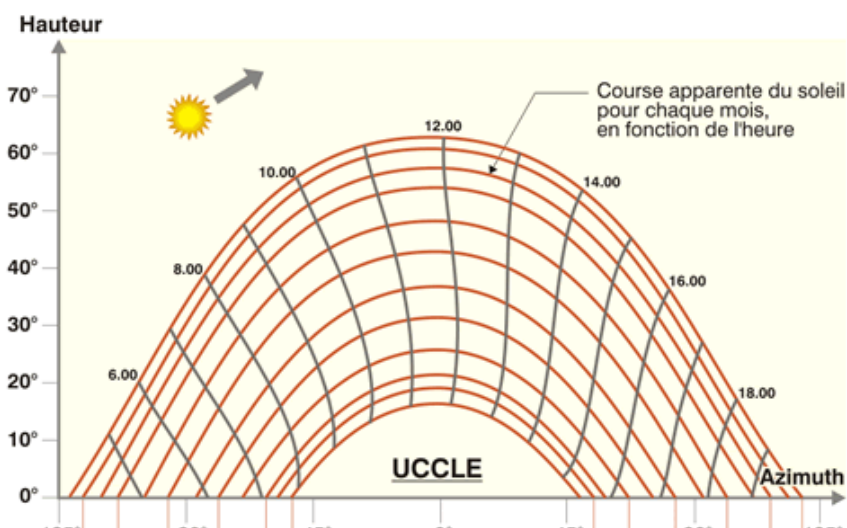


Hauteur du soleil



Azimut du soleil

Pour plus de clarté, on représente généralement la course solaire par un diagramme en coordonnées rectangulaires.



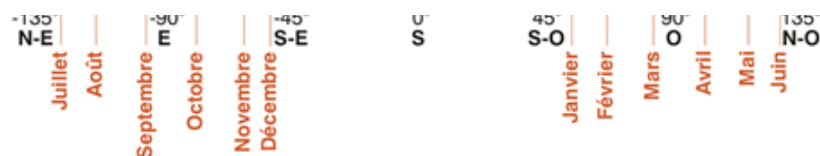


Diagramme solaire cylindrique pour Uccle en temps universel.

Pour en savoir plus sur la construction d'un diagramme solaire : LIENS (dernier point).

En regardant plus précisément, la valeur de l'azimut à différents moments de l'année, on constate que l'expression "le Soleil se lève à l'est et se couche à l'ouest" n'est pas exacte. En effet, en décembre, il se lève au sud-est pour se coucher au sud-ouest, tandis qu'en juin, il se lève pratiquement au nord-est pour se coucher au nord-ouest. Ceci donne 7 heures d'ensoleillement maximum en décembre et plus de 16 heures en juin : ce sont les deux époques des solstices de l'année. Ce n'est qu'aux équinoxes de printemps et d'automne que la durée du jour est égale à celle de la nuit.

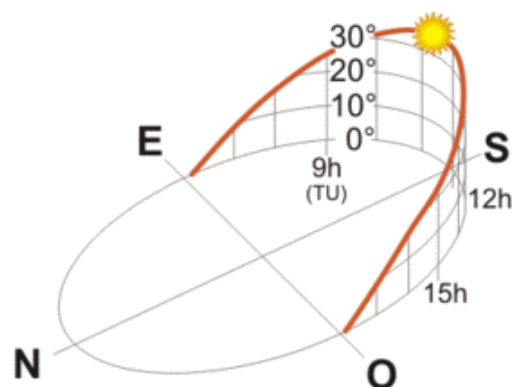
Quant à la hauteur du Soleil, elle atteint un maximum de  $62^\circ$  le 21 juin à 12 heure (heure universelle), alors que le 21 décembre a 12 h univ. Elle n'atteint que  $16^\circ$ .

Les graphes et tableaux qui suivent donnent la hauteur et l'azimut du Soleil à Uccle, en fonction du temps universel, pour les mois de mars, juin, septembre et décembre.

**Temps universel**      **Soleil : hauteur degré**      **Soleil : azimut degré**

7	8,7	- 75,1
8	17,5	- 62,7
9	25,3	- 48,9
10	31,6	- 33,4
11	35,5	- 16,0
12	36,7	2,5
13	34,7	20,8
14	30,1	37,7
15	23,4	52,8
16	15,2	66,1
17	6,2	78,3

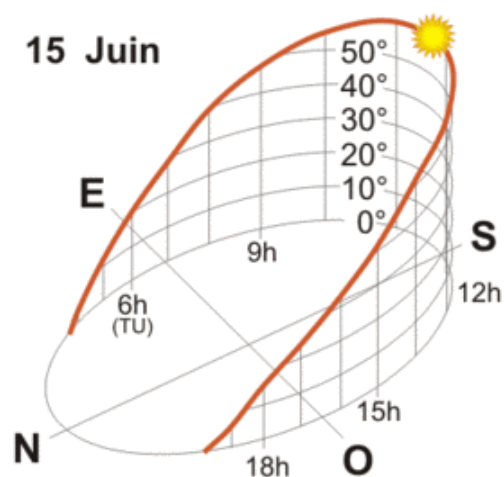
**15 Mars**



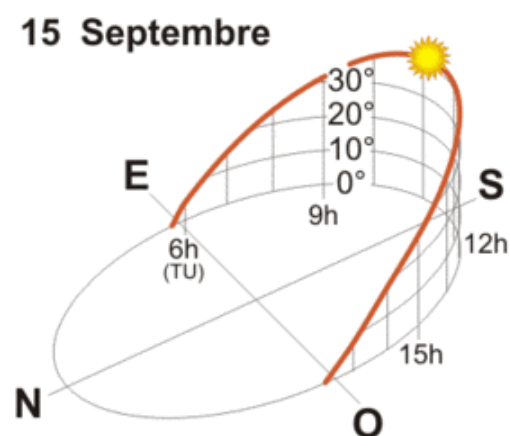
**Temps universel**      **Soleil : hauteur degré**      **Soleil : azimut degré**



Temps universel	Soleil : hauteur degré	Soleil : azimut degré
4	3,1	– 124,0
5	11,4	– 112,9
6	20,4	– 102,1
7	29,9	– 90,9
8	39,3	– 78,7
9	48,3	– 64,1
10	56,0	– 45,5
11	61,2	– 20,7
12	62,3	8,6
13	58,7	35,8
14	51,8	56,9
15	43,2	72,9
16	33,9	85,9
17	24,4	97,4
18	15,2	108,3
19	6,5	119,2



Temps universel	Soleil : hauteur degré	Soleil : azimut degré
6	6,0	– 87,9
7	15,4	– 76,0
8	24,3	– 63,2
9	32,1	– 48,7
10	38,3	– 31,9
11	41,9	– 12,9
12	42,3	7,4
13	39,6	26,9
14	34,0	44,3
15	26,6	59,4
16	17,9	72,6
17	8,6	84,7

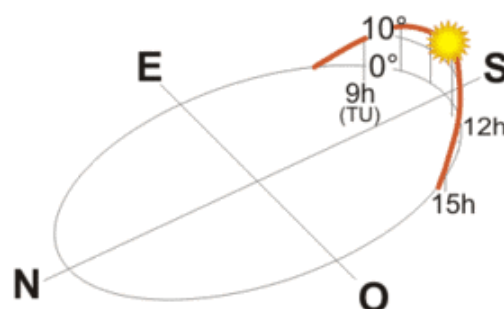


Temps universel	Soleil : hauteur degré	Soleil : azimut degré
--------------------	---------------------------	--------------------------

Temps universel	Soleil : hauteur degré	Soleil : azimut degré
-----------------	---------------------------	--------------------------

8	1,9	– 48,3
9	8,3	– 36,1
10	12,9	– 22,9
11	15,5	– 8,9
12	15,8	5,4
13	13,8	19,5
14	9,6	32,9
15	3,6	45,4

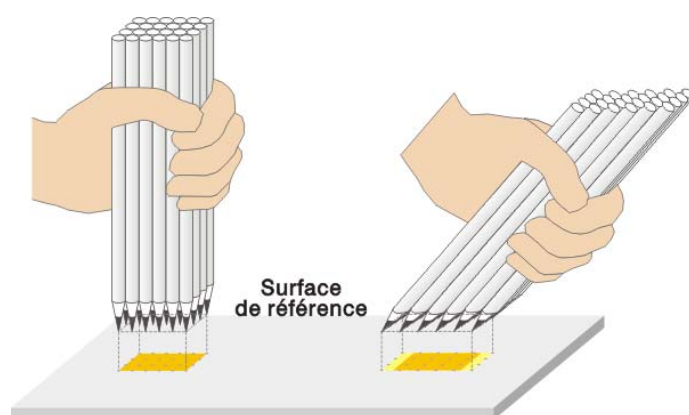
15 Décembre



## L'irradiation solaire incidente

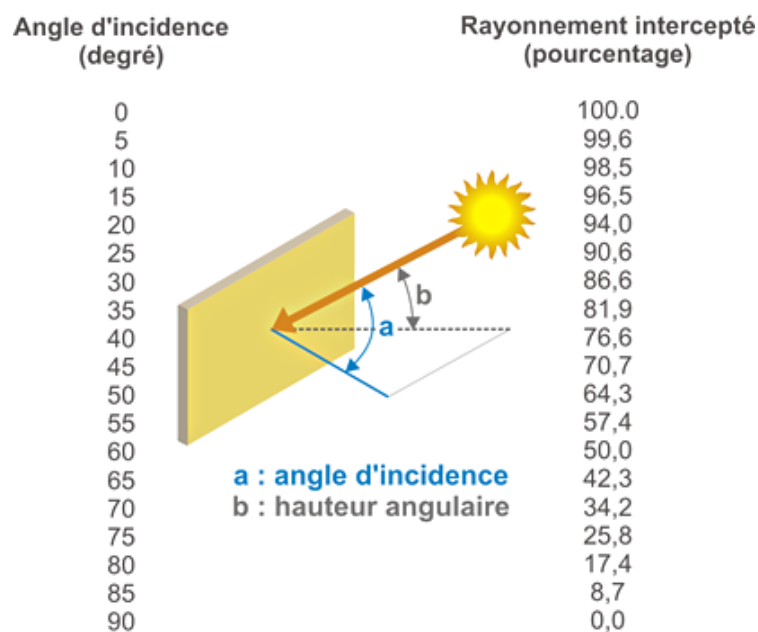
L'angle que font les rayons du Soleil avec une surface détermine la densité énergétique que reçoit cette surface. Puisque le rayonnement solaire arrive sur la Terre sous forme d'un faisceau parallèle, une surface perpendiculaire à ces rayons intercepte la densité maximale d'énergie. Et si l'on incline la surface à partir de cette position perpendiculaire, son éclaircissement diminue.

Le meilleur moyen de représenter ce phénomène consiste peut-être à figurer les rayons parallèles du Soleil par une poignée de crayons tenus dans la main au-dessus d'une feuille de papier, pointes en bas. Les marques faites par les pointes représentent des grains d'énergie. Lorsque les crayons sont perpendiculaires à la feuille, les pointes sont serrées au maximum : la densité d'énergie par unité de surface est la plus grande. Lorsqu'on incline ensemble tous ces crayons parallèles, les pointes s'écartent et couvrent des surfaces de plus en plus allongées : la densité d'énergie diminue avec l'étalement des traces.



Cependant, une surface qui s'écarte de 25 % de cette position perpendiculaire au Soleil, intercepte encore plus de 90 % du rayonnement direct maximum. L'angle que font les rayons du Soleil avec la normale à la surface (angle d'incidence) déterminera le pourcentage de lumière directe interceptée par la surface. Le tableau ci-dessous donne les pourcentages de lumière interceptée par une surface pour différents angles d'incidence.

**Pourcentage du rayonnement intercepté par une paroi  
en fonction de l'angle d'incidence**



En réalité, le rayonnement total reçu sur une surface, appelé irradiation solaire incidente (ou encore éclairement énergétique global), est défini par la somme de trois composantes :

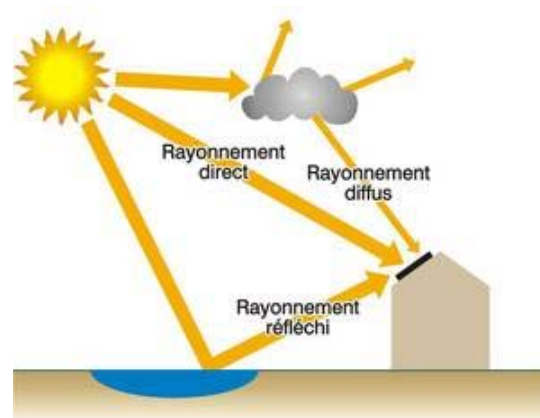
L'irradiation directe, provenant directement du Soleil. Cette composante s'annule si le Soleil est caché par des nuages ou par un obstacle.

L'irradiation diffuse, correspondant au rayonnement reçu de la voûte céleste, hors rayonnement direct. Cette énergie diffusée par l'atmosphère et dirigée vers la surface de la Terre, peut atteindre 50 % du rayonnement global reçu, lorsque le Soleil est bas sur l'horizon, et 100 % pour un ciel entièrement couvert.

L'irradiation réfléchie, correspondant au rayonnement réfléchi par l'environnement extérieur, en particulier le sol, dont le coefficient de réflexion est appelé "albedo".

En particulier, on définit aussi l'irradiation hémisphérique comme l'irradiation globale reçue sur une surface horizontale (la composante réfléchie par le sol est nulle dans ce cas).

L'éclairement énergétique global est mesuré par un solarimètre suivant l'inclinaison et l'orientation souhaitées. L'éclairement énergétique diffus seul est mesuré par un solarimètre à bande d'ombre : c'est le même instrument muni d'un ruban semi-circulaire qui, ajusté périodiquement, masque l'ensoleillement direct de l'appareil de mesure.

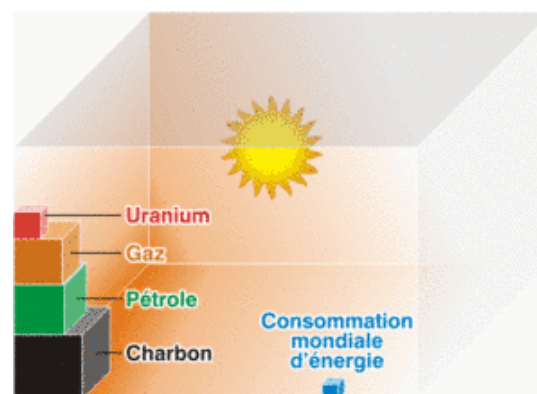


La quantité d'énergie reçue sera dépendante cette puissance, mais aussi de la durée de l'ensoleillement.

Irradiation solaire annuelle et ressources connues d'énergie par rapport à la consommation énergétique mondiale annuelle.

Et cette énergie reçue est énorme ! Même si toute l'énergie solaire reçue sur Terre n'est pas

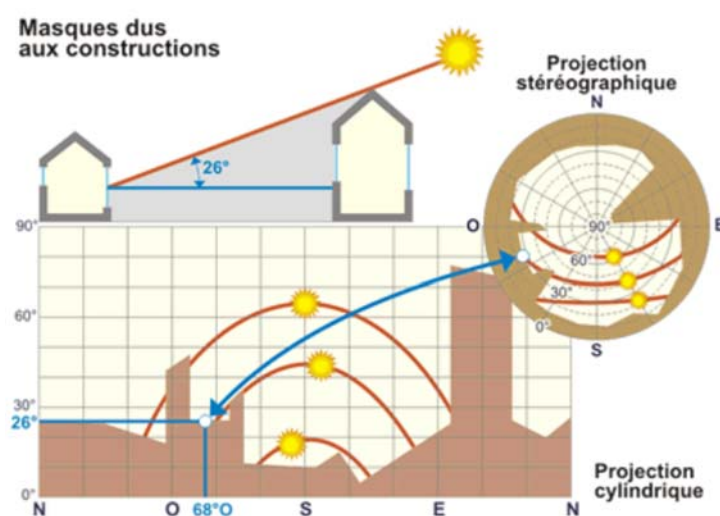
exploitable, on estime que la partie qui pourrait l'être représente trois fois plus que l'énergie consommée mondialement. Cette énergie qui semble inépuisable à l'échelle humaine est totalement respectueuse de l'environnement : son utilisation ne produit ni déchets ni émission polluante. Un véritable défi pour l'avenir !



## Les obstacles à l'ensoleillement

Des masques solaires peuvent être occasionnés par le relief, la végétation existante, les bâtiments voisins, ou encore par des dispositifs architecturaux liés au bâtiment lui-même.

Les constructions constituent des écrans fixes pour leur voisinage. Leur rôle peut être positif si l'on recherche une protection contre le Soleil : c'est le cas des villes méditerranéennes traditionnelles, où l'étroitesse des ruelles et la hauteur des bâtiments réduisent considérablement le rayonnement direct et fournissent un ombrage bienvenu.



Par contre, ce rôle peut être négatif si les bâtiments voisins masquent le Soleil alors qu'on souhaite bénéficier d'apports solaires. En effet sous notre climat, durant les mois d'hiver, environ 90 % des apports solaires interviennent entre 9 h et 15 h solaire. Tous les masques de l'environnement (immeubles ou grands arbres, qui interceptent le Soleil pendant ces heures) généreront grandement l'utilisation des gains solaires.

Dans le cas d'une conception solaire passive, il importera donc de mesurer l'impact de cet effet de masquage. Pour ce faire, on représentera sur un diagramme cylindrique ou stéréographique (figure ci-dessus) les courbes de la course solaire annuelle et la silhouette des bâtiments voisins. On repèrera ainsi facilement les périodes où l'ensoleillement est disponible et on pourra calculer les facteurs de réduction des gains solaires.

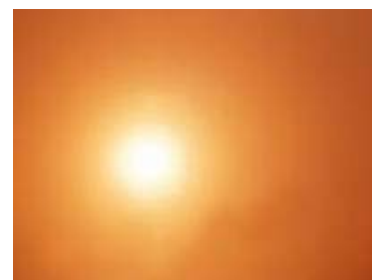
L'emploi de matériaux réfléchissants (vitrages) peut également influencer l'exposition effective d'un bâtiment. Ainsi, un édifice orienté nord et doté de larges vitrages clairs pour tirer parti de la lumière naturelle peut se retrouver dans une situation sud si on construit en face un bâtiment équipé de vitrages réfléchissants, précisément pour se protéger de l'ensoleillement. À l'évidence, les conditions de confort, dans le premier bâtiment, sont profondément modifiées par la construction du second.



## L'ensoleillement en Belgique

Sous notre climat, le Soleil nous apporte annuellement environ 1 000 kWh/m<sup>2</sup> au sol, l'équivalent énergétique de 100 litres de mazout par m<sup>2</sup> !

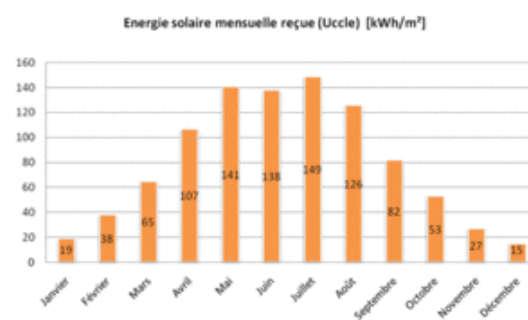
La quantité d'énergie solaire reçue en un lieu est inégalement répartie au fil des saisons. Elle varie suivant le jour et l'heure considérés, et est influencée par les conditions météorologiques et le niveau de pollution de l'air. On considère en général que l'on reçoit 250 kWh du 15 octobre au 15 avril et 750 kWh du 15 avril au 15 octobre.



Suivant les conditions météorologiques, le rayonnement nous parviendra selon ses composantes diffuses et directes en proportion plus ou moins grande.

N.B. : Le rayonnement solaire global est ici considéré sur une surface horizontale (sur laquelle la composante réfléchi du rayonnement est nulle).

En pratique, les conditions météorologiques peuvent être qualifiées par l'insolation directe relative : c'est le rapport entre l'insolation effective (S) et l'insolation maximale théorique (S<sub>0</sub>). Celle-ci détermine les types de ciel :

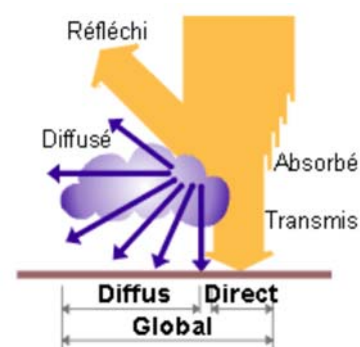




Un ciel est considéré comme serein lorsque l'insolation directe relative  $S/S_o$  est comprise entre 80 et 100 %,

un ciel est considéré comme moyen lorsque l'insolation directe relative  $S/S_o$  est comprise entre 20 et 80 %,

un ciel est considéré comme couvert lorsque l'insolation directe relative  $S/S_o$  est comprise entre 0 et 20 %.

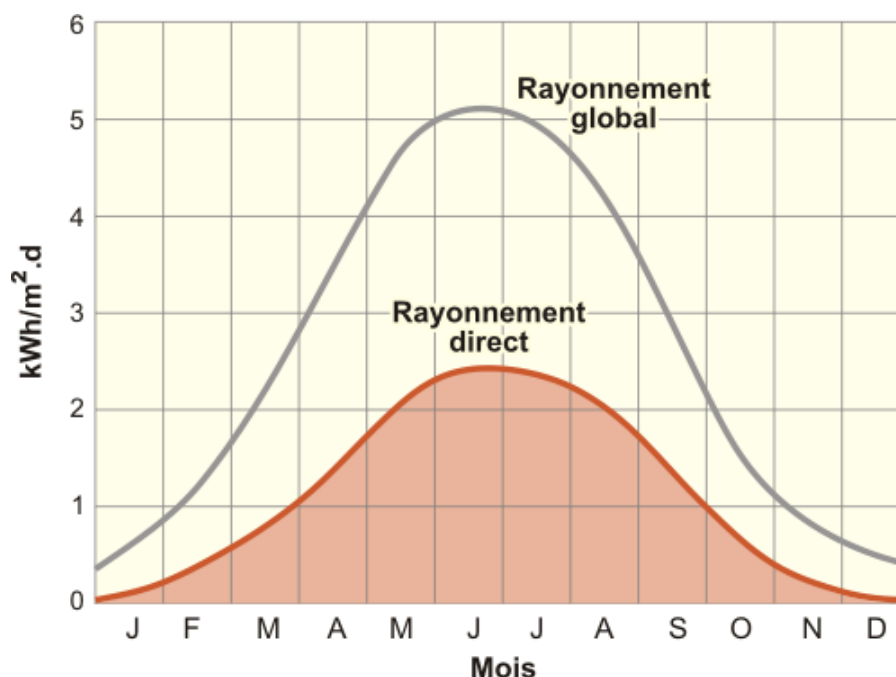


Ciel	Mois de l'année											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>Couvert</b>	65	54	45	40	30	28	32	29	29	43	61	70
<b>Moyen</b>	23	33	39	44	47	53	52	55	47	37	28	20
<b>Serein</b>	12	13	16	16	13	19	16	16	24	20	11	10

Et le tableau suivant donne pour Uccle, les moyennes journalières mensuelles de l'insolation directe relative.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b><math>S/S_o</math> (%)</b>	23	28	34	39	46	40	41	45	43	35	24	17

Par exemple, une insolation directe relative de 34 % au mois de mars à Uccle indique qu'en moyenne seulement 34 % du temps est ensoleillé entre le lever et le coucher du Soleil.



Énergie moyenne journalière reçue sur une surface horizontale.

Annuellement, c'est environ de 60 % de l'énergie solaire qui nous arrive sous forme de rayonnement diffus, et 40 % sous forme de rayonnement direct.

	Global [kWh/m <sup>2</sup> .an]	Direct [%]	Diffus [%]
Normale	980	40	60
2002	990	44	56
2003	1 151	52	48
2004	1 034	44	56
2005	1 056	47	53
2006	1 040	47	53
2007	998	45	55

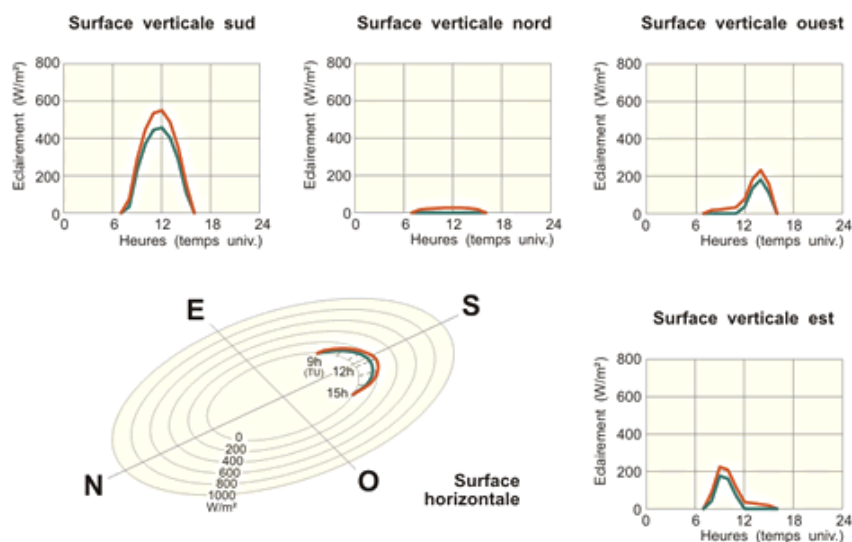
Rayonnement annuel reçu sur une surface d'1m<sup>2</sup> au sol.  
Source IRM.

> En Belgique, dû à la présence fréquente de nuages, plus de la moitié de l'énergie solaire nous provient de manière diffuse !

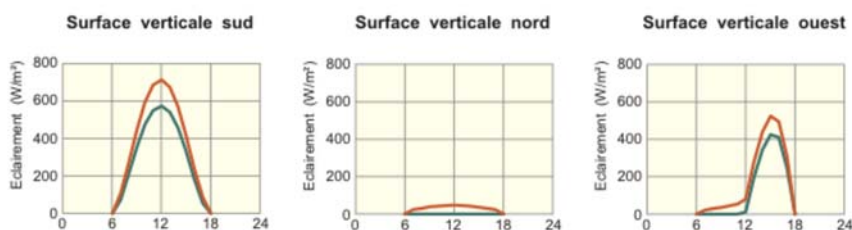
### L'éclairement énergétique disponible

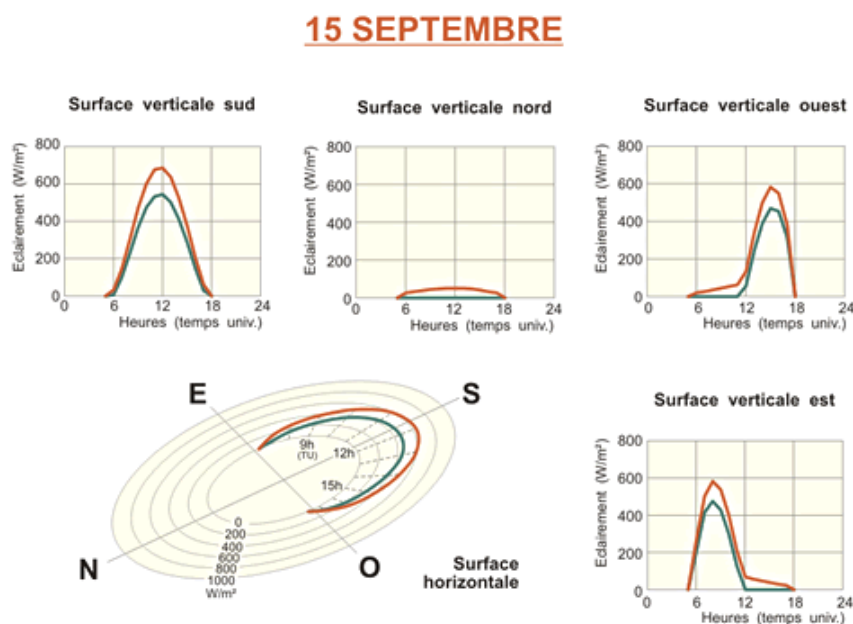
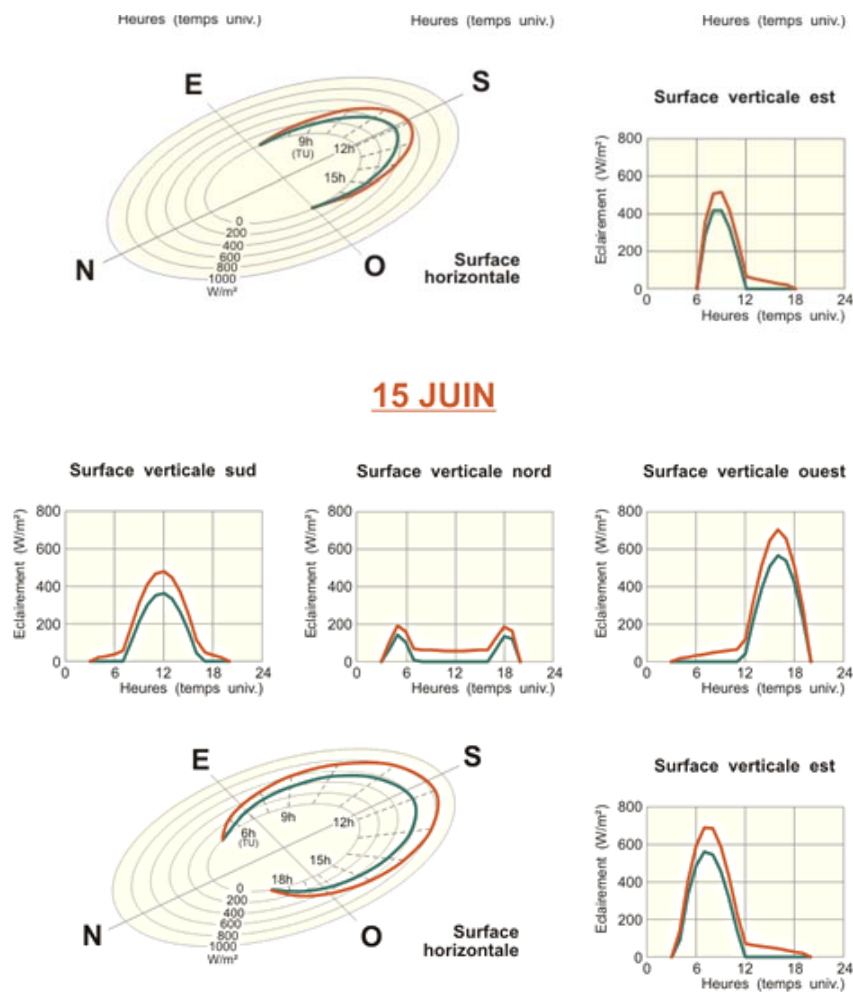
Les graphes suivants donnent l'éclairement énergétique solaire direct et global pour un ciel serein à Uccle, le 15 des mois de mars, juin, septembre et décembre.

#### 15 DECEMBRE



#### 15 MARS





Par exemple, les éclairements énergétiques solaires direct et global pour un ciel serein à Uccle sont,

- le 15 mars à 10h univ. (11h off) de 291  $\text{W/m}^2$  et 424  $\text{W/m}^2$  pour une surface horizontale,
- le 15 juin à 13h univ. (15h off) de 124  $\text{W/m}^2$  et 323  $\text{W/m}^2$  pour une surface verticale ouest,
- le 15 septembre à 13h univ. (15h off) de 467  $\text{W/m}^2$  et 687  $\text{W/m}^2$  pour une surface verticale sud.

Dans le cas où la surface réceptrice est verticale, l'éclairement énergétique sera maximal sur une

surface sud en hiver, tandis qu'il sera maximal sur une surface est ou ouest en été. Ceci étant, la surface verticale n'est jamais la surface la plus favorable au captage de l'énergie solaire.

Afin de tenir compte des conditions météorologiques, les tableaux ci-après donnent l'éclairement énergétique solaire global pour un ciel moyen et un ciel couvert, à Uccle (Bruxelles), le 15 des mois de mars, juin, septembre et décembre, d'une surface horizontale et d'une surface verticale d'orientation sud, nord, est et ouest.

Par exemple, l'éclairement énergétique solaire global pour un ciel moyen et un ciel couvert à Uccle est,

- le 15 mars à 9h univ. (10h off) de 197 W/m<sup>2</sup> et 89 W/m<sup>2</sup> pour une surface horizontale,
- le 15 juin à 9h univ. (11h off) de 419 W/m<sup>2</sup> et 130 W/m<sup>2</sup> pour une surface verticale est.

Ciel moyen.

Ciel couvert.

Comparativement au ciel serein, la réduction de l'éclairement énergétique global sur une surface horizontale est de l'ordre de 30 % par ciel moyen et de 70 % par ciel couvert. Cette différence s'accroît lorsque la surface réceptrice tend à être perpendiculaire au rayonnement solaire.

		Eclairement énergétique global W/m <sup>2</sup>				
		Surf. horiz.	Vert. sud	Vert. nord	Vert. est	Vert. ouest
Mars	7	54	76	52	228	52
	9	197	268	116	352	116
	11	387	525	181	330	181
	13	350	475	157	157	216
	15	172	236	85	85	239
	17	32	49	15	15	125
Juin	5	85	41	103	154	39
	7	273	117	146	356	103
	9	463	249	162	419	152
	11	597	381	185	319	187
	13	576	370	177	180	262
	15	427	233	135	131	347
Sept.	17	235	84	92	76	298
	19	9	4	6	4	10
Déc.	7	131	86	67	196	60
	9	298	249	115	313	113
	11	455	445	148	280	156
	13	421	403	135	144	227
	15	254	213	90	89	248
	17	71	48	28	26	127
Déc.	9	42	135	38	125	38
	11	130	356	78	151	78
	13	114	312	64	64	115
	15	3	6	3	3	5

		Eclairement énergétique global W/m <sup>2</sup>				
		Surf. horiz.	Vert. sud	Vert. nord	Vert. est	Vert. ouest
Mars	7	30	38	32	83	32
	9	89	115	72	142	72
	11	161	210	111	150	111
	13	143	187	95	95	110
	15	70	92	51	51	93
	17	12	16	8	8	36
Juin	5	52	25	35	44	25
	7	145	69	72	94	68
	9	228	114	106	130	105
	11	282	146	128	140	128
	13	265	138	120	121	128
	15	194	98	88	88	109
Sept.	17	108	49	50	48	76
	19	8	3	9	3	16
Déc.	7	73	38	35	55	35
	9	149	84	70	91	70
	11	208	121	95	107	95
	13	188	111	86	86	94
	15	117	69	53	53	74
	17	32	19	14	13	40
Déc.	9	19	39	20	37	20
	11	44	89	40	51	40
	13	37	76	33	33	40
	15	2	3	2	2	3

## Variation géographique de l'exposition énergétique

Le tableau ci-dessous donne pour les stations sélectionnées les expositions énergétiques moyennes mensuelles et annuelles en Wh/m<sup>2</sup>.

Wh/m <sup>2</sup>	MIDDELKERKE	UCCLE	CHIEVRES	KLEINE-BROGEL	FLORENNES	SPA	SAINT-HUBERT
<b>Janvier</b>	23 324,1	19 934,9	18 946	21 429,49	20 193,282	21 701,74	22 207,33
<b>Février</b>	38 408,6	35 366,7	34 127,7	37 347,43	36 886,284	39 867,08	42 403,39
<b>Mars</b>	82 762,2	70 736,2	70 311,2	73 494,77	74 980,998	75 783,84	77 881,23
<b>Avril</b>	120 012	106 964	104 289	110 814,4	108 247,55	111 258,9	112 953,5
<b>Mai</b>	155 199	142 253	133 433	142 964,2	139 408,37	144 247,7	147 089,5
<b>Juin</b>	161 996	148 892	139 511	149 189,7	149 189,71	152 095,5	154 251,2
<b>Juillet</b>	156 251	140 136	131 869	141 958,6	144 339,32	144 247,7	148 684,1
<b>Aout</b>	133 588	120 135	113 045	122 898,7	120 976,34	127 024,1	124 579,4
<b>Sept.</b>	97 249,4	89 548,8	85 518	89 726,62	90 176,658	93 757,5	95 727,1
<b>Octobre</b>	60 666	54 359,9	54 087,7	57 785,18	58 599,132	61 316,02	59 199,18
<b>Nov.</b>	28 288,4	24 577	24 771,4	27 132,73	26 249,322	27 085,5	25 560,38
<b>Déc.</b>	18 576,5	15 690,1	15 940,2	18 120,89	16 820,79	17 654,19	18 279,24
<b>ANNEE</b>	1 076 322	968 591	925 849	992 862,8	986 067,77	1 016 040	1 028 816

La Belgique se caractérise par des variations géographiques relativement faibles, inférieures à  $\pm 5 \%$  pour l'ensemble du pays, à l'exception de la région côtière et du pays gaumais où des écarts annuels de 10 % par rapport à Uccle sont atteints et même dépassés (+ 18 % à Luxembourg).

Du tableau précédent, les écarts par rapport à Uccle s'établissent comme suit selon les saisons : en hiver (H); printemps (P); été (E); automne (A) et période de végétation (V) couvrant les mois de mai, juin et juillet.

	H	P	E	A	V	Année
<b>Middelkerke</b>	+ 13 %	+ 12 %	+ 10 %	+ 10 %	+ 9 %	+ 11 %
<b>Chièvres</b>	– 3 %	– 4 %	– 6 %	– 2 %	– 6 %	– 4 %
<b>Kleine-Brogel</b>	+ 9 %	+ 2 %	+ 1 %	+ 3 %	+ 1 %	+ 2 %
<b>Florennes</b>	+ 4 %	+ 1 %	+ 1 %	+ 4 %	0 %	+ 2 %
<b>Spa</b>	+ 12 %	+ 4 %	+ 3 %	+ 8 %	+ 2 %	+ 5 %

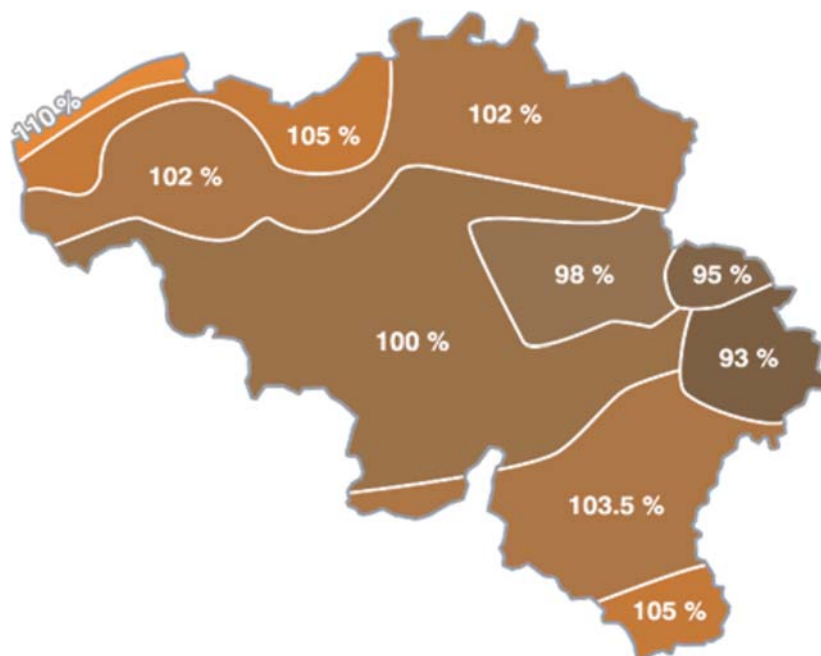


**Saint-Hubert** + 17 % + 6 % + 4 % + 7 % + 4 % + 6 %

L'Institut Royal Météorologique de Belgique a établi une distribution du rayonnement solaire basée sur la répartition de l'insolation effective selon les zones climatiques de la Belgique sachant que les variations de celle-ci par rapport à Uccle sont approximativement les suivantes :

<b>Littoral</b>	+ 10 %
<b>Polders et Pays de Waes</b>	de + 5 % à + 2 % selon l'éloignement de la zone côtière.
<b>Campine et Flandre limoneuse</b>	+ 2 %
<b>Hesbaye</b>	– 2 %
<b>Pays de Herve</b>	– 5 %
<b>Gileppe – Warche</b>	– 7 %
<b>Plateau ardennais</b>	+ 2 % à + 5 %
<b>Pays gaumais</b>	+ 5 %
<b>Grand-Duché de Luxembourg</b>	+ 10 %

La carte ci-dessous en a été déduite.

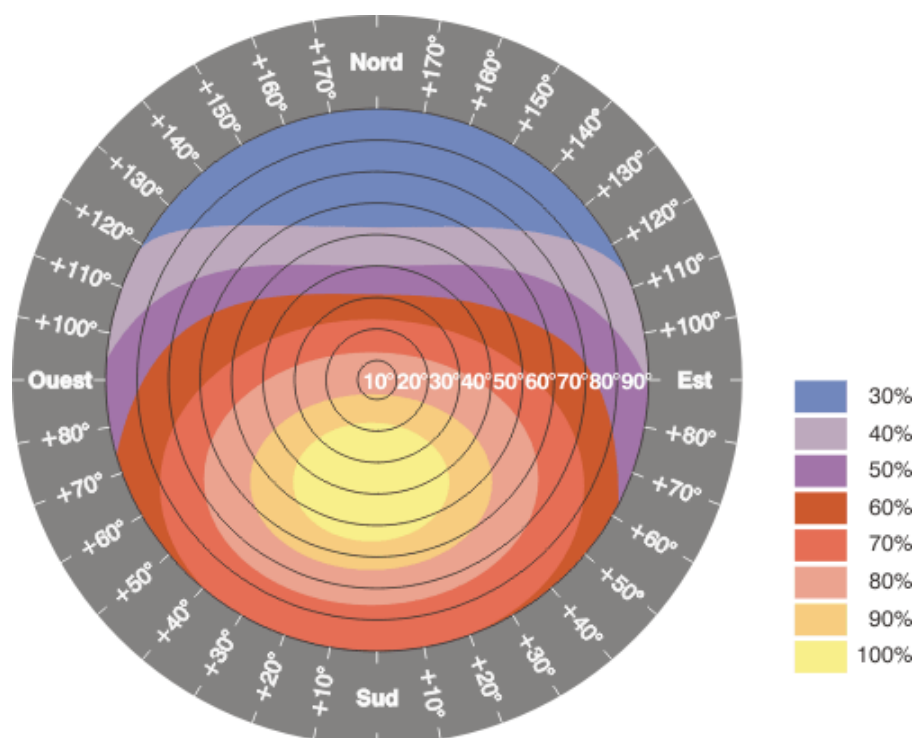


## L'influence de l'orientation et de l'inclinaison

Il est bien entendu clair que la quantité d'énergie reçue sur une surface dépendra de son orientation et de son inclinaison.

Le graphe ci-dessous montre cette influence dans notre pays (l'azimut se lit sur la circonférence et la

hauteur du Soleil sur les cercles intérieurs) :



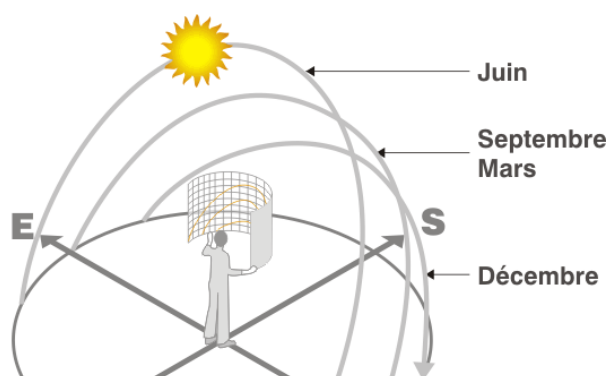
Une surface inclinée à 38° au sud recevra un maximum d'énergie solaire. Une surface verticale à l'est ne recevra que 50 % de cette énergie maximale.

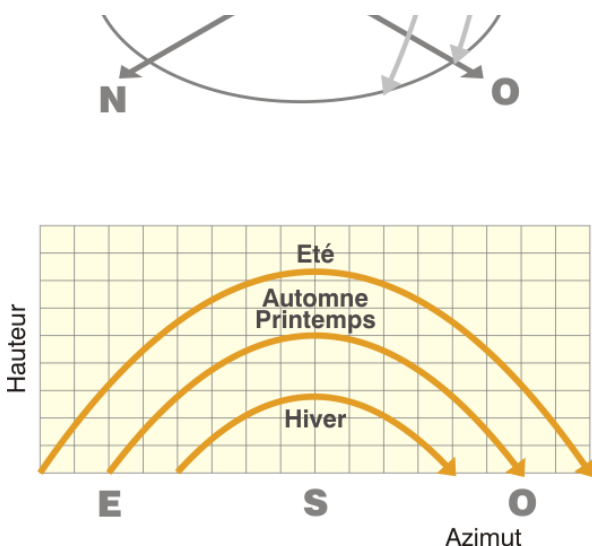
## Construction d'un diagramme solaire

La voûte céleste est la partie visible du ciel dans toutes les directions au-dessus de l'horizon. Le quadrillage du diagramme solaire représente les angles horizontaux et verticaux des points de la voûte céleste. Tout se passe comme si l'observateur repérait l'azimut et la hauteur du Soleil sur un hémisphère transparent au-dessus de lui et comme si, ensuite, il étirait cette portion de sphère en cylindre vertical.

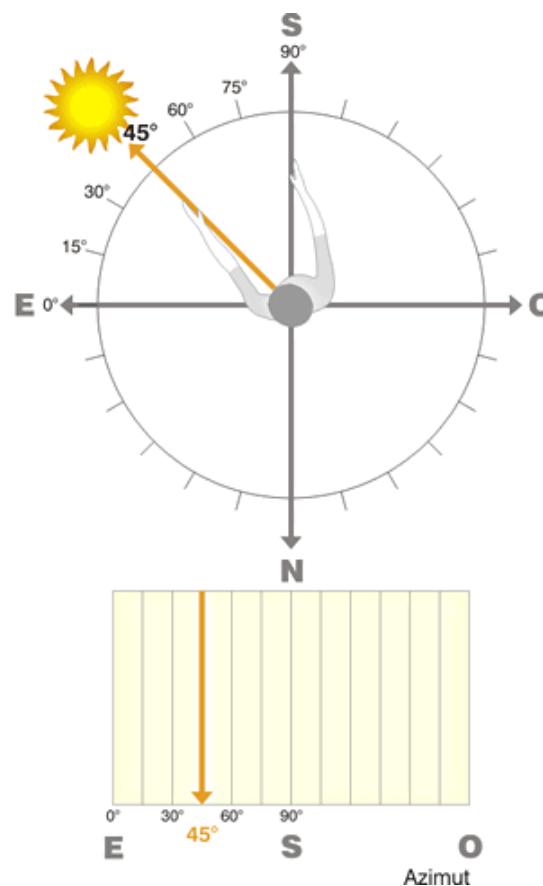
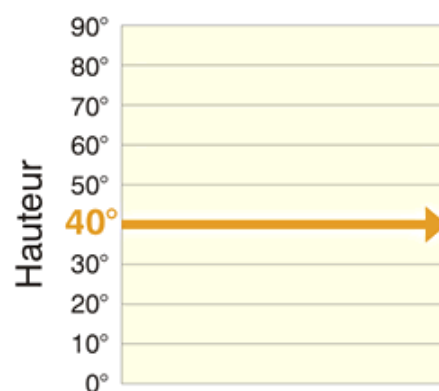
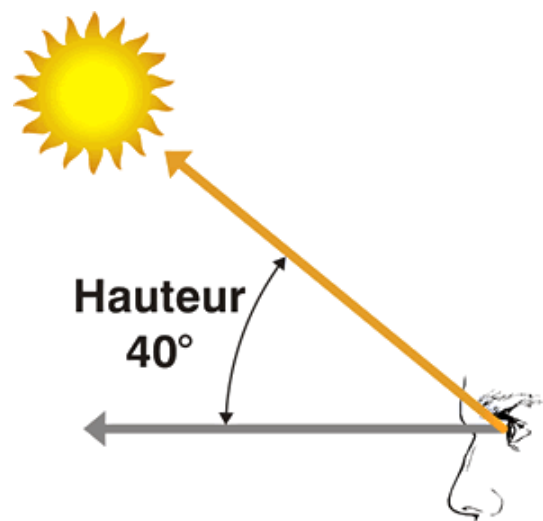
Lorsque l'on connaît l'azimut et la hauteur solaire, on n'a aucune peine à situer la position du Soleil dans le ciel.

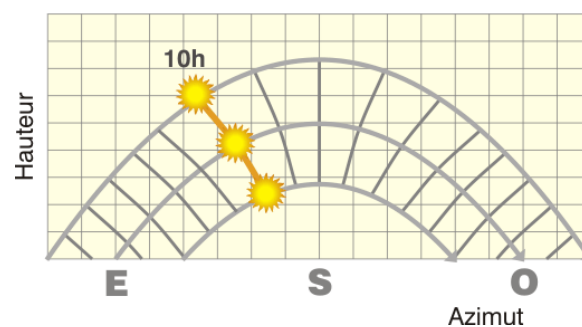
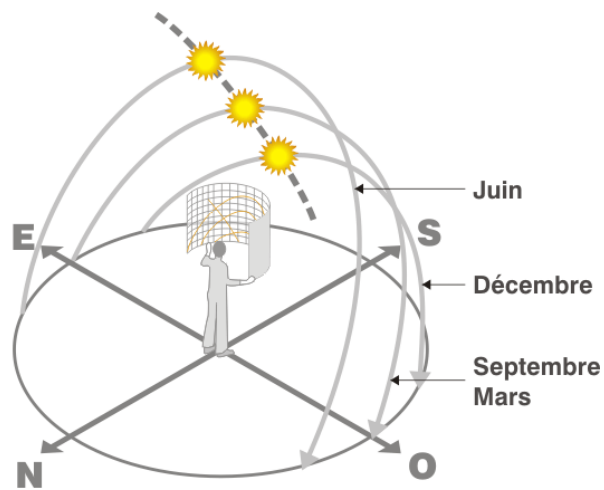
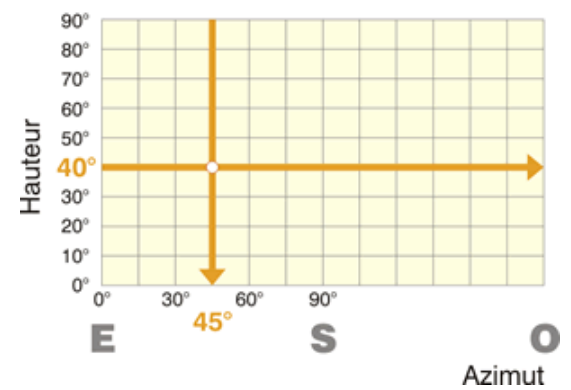
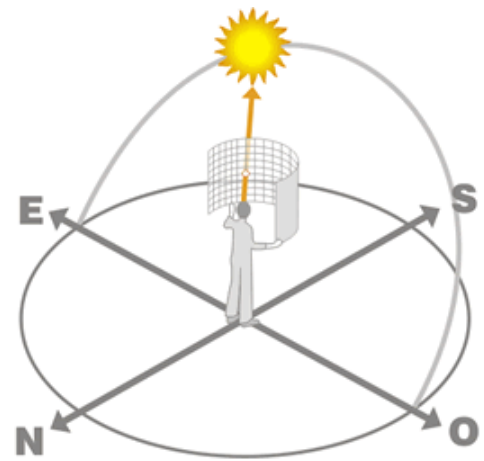
En joignant les différentes localisations, du Soleil à divers moments de la journée, on obtient le tracé de la course du Soleil.





On peut ainsi tracer la course du Soleil pour n'importe quel jour de l'année. Les trajectoires représentées sur les diagrammes solaires correspondent au vingtième jour de chaque mois (certains diagrammes les donnent pour les 5, 15 et/ou 25ème jours de chaque mois). La journée solaire est la plus longue au solstice d'été, lorsque le Soleil atteint sa hauteur la plus élevée et balaie le secteur azimutal le plus large, de part et d'autre du sud. Au voisinage du solstice d'hiver, le Soleil est au contraire beaucoup plus bas dans le ciel : il reste visible moins longtemps et balaie le secteur azimutal le plus faible.





Pour terminer, si on relie entre eux les points qui correspondent aux mêmes heures sur les

différentes courbes relatives à une même latitude (et à différents moments de l'année, on obtient pour chaque heure du jour une ligne particulière en pointillé.

D'une manière similaire, on pourra aisément représenter les masques solaires. Il suffira pour cela de repérer l'azimut et la hauteur de chacun des obstacles et de les reporter sur le diagramme.