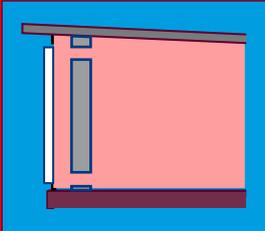


**Roger Cadiergues**



# L'insertion du solaire

## **L04. SOMMAIRE**

**. Avant-propos** *p. 3*

**1. Les données solaires de base** *p. 5*

- 1.01. Les données géographiques
- 1.02. Les masques solaires
- 1.03. Les flux solaires
- 1.04. L'influence de l'atmosphère

**2. Le solaire passif** *p. 9*

- 2.01. Système actifs et systèmes passifs
- 2.02. Les apports par les vitrages
- 2.03. Les système héliodynamiques

**3. Le solaire d'été** *p. 11*

- 3.01. Les échelles de temps
- 3.02. Les paramètres solaires de base
- 3.03. Les paramètres solaires complémentaires
- 3.04. Les positions solaires

**4. Le solaire actif** *p. 13*

- 4.01. Les différents capteurs thermiques
- 4.02. Les capteurs plans
- 4.03. Les capteurs à tube sous vide
- 4.04. Le rendement des capteurs thermiques
- 4.05. Le montage des capteurs thermiques
- 4.06. Les capteurs photovoltaïques

**Livraison 04 . 29 janvier 2009  
(prochain livret le 5 février 2009)**

# LA COLLECTION DevCad

## Livrets des précédentes livraisons :

**L00 : AuxiDev** (8 janvier 2009)

**L01 : Le développement durable** (8 janvier 2009)

**L02 : Le cadre DevCad** (15 janvier 2009)

**L03 : Les plans énergétiques** (22 janvier 2009)

## Livrets prévus dans les prochaines livraisons :

**L05 : La biomasse énergie** (5 février 2009)

**L06 : Les productions électriques** (12 février 2009)



**L'ACCES AUX MODULES AuxiDev, ET LEUR UTILISATION SONT GRATUITS,  
MAIS N'OUBLIEZ PAS, AUPARAVANT, DE VOUS INSCRIRE**

**La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part que les «copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective», et d'autre part que les analyses et courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration «toute reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite».**

**Texte établi par Roger Cadiergues (© novembre 2008)**

# AVANT-PROPOS

*Le solaire, comme la biomasse, sont les énergies renouvelables essentielles dans nos applications : le livret qui suit concerne uniquement le solaire.*

*Attention : il ne s'agit que d'une présentation générale, regroupant les données communes que l'on retrouvera dans plusieurs autres applications (avec leurs livrets).*

## ***L'utilisation du rayonnement solaire : une ambition déjà ancienne***

En bâtiment la prise en compte du rayonnement solaire est une exigence assez fondamentale, qui peut se traduire par trois catégories de dispositions.

**1.** Le solaire joue, normalement, un rôle fondamental dans la conception même des bâtiments, les choix architecturaux classiques le prenant en compte au plan de l'**orientation** des bâtiments et des vitrages.

**2.** Cette prise en compte peut également donner lieu à des dispositions architecturales particulières, ce qu'il est convenu d'appeler le **solaire passif**, le «mur Trombe» en étant l'illustration principale.

**3.** Il est également possible de faire appel à des systèmes spécifiquement conçus pour utiliser l'énergie solaire, basés sur l'emploi de dispositifs captant directement le rayonnement : les *capteurs*. Dans ce cas, où l'on fait appel à des dispositifs très spécifiques, nous disons qu'il s'agit de **solaire actif**.

## ***Le solaire passif et la conception des bâtiments***

Les points essentiels de la conception «solaire» des bâtiments, y compris les dispositifs spécifiques de solaire passif, sont traités aux chapitres 1 et 2 du présent livret. C'est à ce document qu'il faudra éventuellement vous reporter, avec les nuances suivantes :

- . en matière de conception il faudra également vous reporter au livret ultérieur consacré aux avant-projets (constructions neuves) ;
- . en matière de solaire passif proprement dit (structures héliodynamiques) AuxiDev se limitera normalement à ce qui est dit plus loin, page 10.

## ***Le solaire actif***

Les systèmes solaires actifs pouvant être utilisés en bâtiment sont assez nombreux . Il peut s'agir :

- . soit de ceux servant à produire de l'**eau chaude** dans les services classiques,
- . soit de ceux destinés à réchauffer l'eau des **piscines**,
- . soit de ceux destinés à **chauffer** les locaux,
- . soit de ceux destinés à produire de la **chaleur à usage professionnel**,
- . ceux destinés à produire (indirectement) du **froid** - pour la climatisation en particulier.

## Les système actifs

Les systèmes actifs utilisent des capteurs chargés de recueillir le rayonnement solaire direct et diffus. Les différents systèmes que nous retenons sont les suivants :

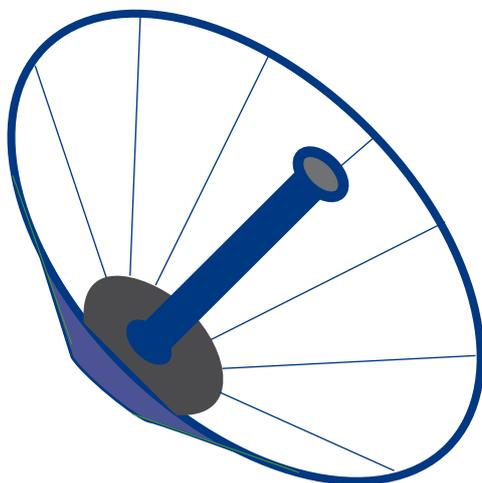
- . dans ce livret ceux qui utilisent des **capteurs thermiques**, présentés plus loin au chapitre **4**, utilisés pour le chauffage des piscines, la production d'eau chaude, le chauffage d'ambiance ;
- . dans ce livret, sous forme très sommaire (voir plus loin) les **capteurs optiques**, destinés à des usages «haute température» ;
- . dans le livret **L06** (*Les productions électriques*) les capteurs destinés à la production directe d'électricité : les **panneaux photovoltaïques**.

## Les système actifs un peu oubliés

On a, depuis longtemps, cherché à utiliser l'énergie solaire pour du chauffage à température voisine de 100 °C ou plus. C'est ainsi qu'entre 1864 et 1878 les installations solaires réalisées par Auguste Mouchot ont - pour certaines - fourni de la vapeur basse pression afin de produire de l'électricité. Les résultats obtenus à Tours, sur une installation réelle, ont malheureusement été jugés de rentabilité insuffisante par les Pouvoirs Publics. *La situation n'a pas, vraiment, changé.*

## Les système optiques

On a, depuis longtemps, cherché à utiliser l'énergie solaire pour des traitements à haute température (les «fours solaires») en concentrant optiquement le rayonnement. La figure ci-dessous illustre l'une des tentatives d'Auguste Mouchot à l'Exposition Universelle de 1878. Depuis lors d'autres tentatives ont eu lieu, en particulier en France et dans les Pyrénées Orientales (Odeiho), mais sans succès significatif. Il est, néanmoins, régulièrement question de reprendre le sujet.



# 1. LES DONNÉES SOLAIRES DE BASE

## 1.01. Les données géographiques

Quelle que soit la forme adoptée pour utiliser le rayonnement solaire il est nécessaire de disposer de données concernant les mouvements du soleil. Pour ce faire il faut disposer des **données géographiques** du site (voir schéma ci-contre) :

- . la **latitude**,
- . la **longitude**,
- . et l'**altitude**.

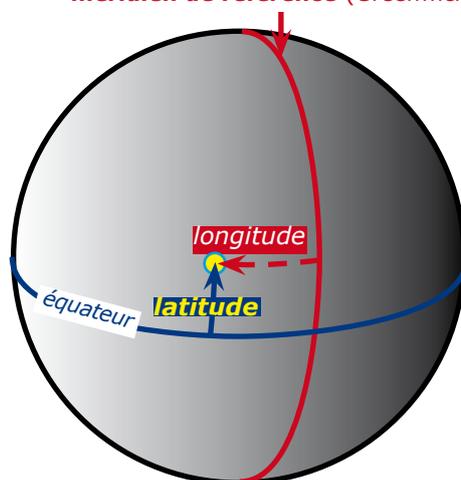
Opérez de façon adaptée au problème étudié.

1. Dans les problèmes touchant la **climatisation** il est nécessaire de tenir compte de l'ensemble des **trois caractéristiques** que nous venons d'indiquer.

2. Dans les **autres cas** il suffit d'utiliser le découpage de la France métropolitaine en neuf zones (voir table ci-dessous) ne tenant compte que de la latitude (de 51 à 42 °N). Cette procédure (dite ici du **solaire de base**) suppose qu'on n'utilise pas l'heure légale.

### COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES

méridien de référence (Greenwich)



## A. ZONES D'ENSOLEILLEMENT

	département	zone		département	zone		département	zone		département	zone
01	Ain	S4	25	Doubs	S5	49	Maine et Loire	S5	73	Savoie	S3
02	Aisne	S8	26	Drôme	S3	50	Manche	S7	74	Savoie (Haute-)	S4
03	Allier	S4	27	Eure	S7	51	Marne	S7	75	Paris	S7
04	Alpes de Hte Prov.	S2	28	Eure et Loir	S6	52	Marne (Haute -)	S6	76	Seine Maritime	S7
05	Alpes (Hautes -)	S3	29	Finistère	S7	53	Mayenne	S6	77	Seine et Marne	S7
06	Alpes Maritimes	S2	30	Gard	S2	54	Meurthe et Moselle	S7	78	Yvelines	S7
07	Ardèche	S3	31	Garonne (Haute-)	S1	55	Meuse	S7	79	Sèvres (Deux -)	S5
08	Ardennes	S8	32	Gers	S2	56	Morbihan	S6	80	Somme	S8
09	Ariège	S1	33	Gironde	S3	57	Moselle	S7	81	Tarn	S2
10	Aube	S6	34	Hérault	S2	58	Nièvre	S5	82	Tarn et Garonne	S2
11	Aude	S1	35	Ille et Vilaine	S6	59	Nord	S9	83	Var	S2
12	Aveyron	S2	36	Indre	S5	60	Oise	S7	84	Vaucluse	S2
13	Bouches du Rhône	S2	37	Indre et Loire	S5	61	Orne	S7	85	Vendée	S5
14	Calvados	S7	38	Isère	S3	62	Pas de Calais	S9	86	Vienne	S5
15	Cantal	S3	39	Jura	S5	63	Puy de Dôme	S4	87	Vienne (Haute -)	S4
16	Charente	S4	40	Landes	S2	64	Pyrénées Atlant.	S1	88	Vosges	S6
17	Charente Maritime	S4	41	Loir et Cher	S6	65	Pyrénées (Hautes-)	S1	89	Yonne	S6
18	Cher	S5	42	Loire	S4	66	Pyrénées Orient.	S1	90	Territ. de Belfort	S6
19	Corrèze	S3	43	Loire (Haute-)	S3	67	Rhin (Bas-)	S7	91	Essonne	S7
20	Corse (9A, 9B)	S0	44	Loire Atlantique	S5	68	Rhin (Haut-)	S6	92	Hauts de Seine	S7
21	Côte d'Or	S5	45	Loiret	S6	69	Rhône	S4	93	Seine St Denis	S7
22	Côtes d'Armor	S7	46	Lot	S3	70	Saône (Haute-)	S6	94	Val de Marne	S7
23	Creuse	S4	47	Lot et Garonne	S2	71	Saône et Loire	S4	95	Val d'Oise	S7
24	Dordogne	S3	48	Lozère	S3	72	Sarthe	S6			

## 1.02. Les masques solaires

### LES POSTIONS SOLAIRES

La table précédente permet de repérer facilement les **masques solaires**, c'est à dire - pour un site - la hauteur des obstacles avoisinants qui empêchent le soleil de parvenir au point choisi. Pour y parvenir il faut définir au préalable quelques notions de base.

1. Il s'agit d'abord du concept de **temps solaire vrai**, défini comme suit :

. à midi (12 h solaire) le soleil est au Sud (angle horaire nul),

. aux autres heures  $t_{sv}$  [h] l'angle horaire  $\alpha$  [deg] par rapport au Sud vaut:

$$\alpha = 15 (t_{sv} - 12)$$

Exemple : à 14 h (solaire),  $\alpha = 30$  [deg].

2. La **hauteur solaire** est l'inclinaison par rapport au sol du rayon solaire (voir figure), caractérisée ici par la tangente de cet angle :  $tg(h)$ , fournie plus loin.

3. Tout obstacle (bâtiment ou relief) **n'empêche pas** l'ensoleillement du point **O** (figure ci-contre) si :

$$a/d < tg(h).$$

4. Les valeurs caractéristiques de  $tg(h)$  sont fournies par les figures suivantes :

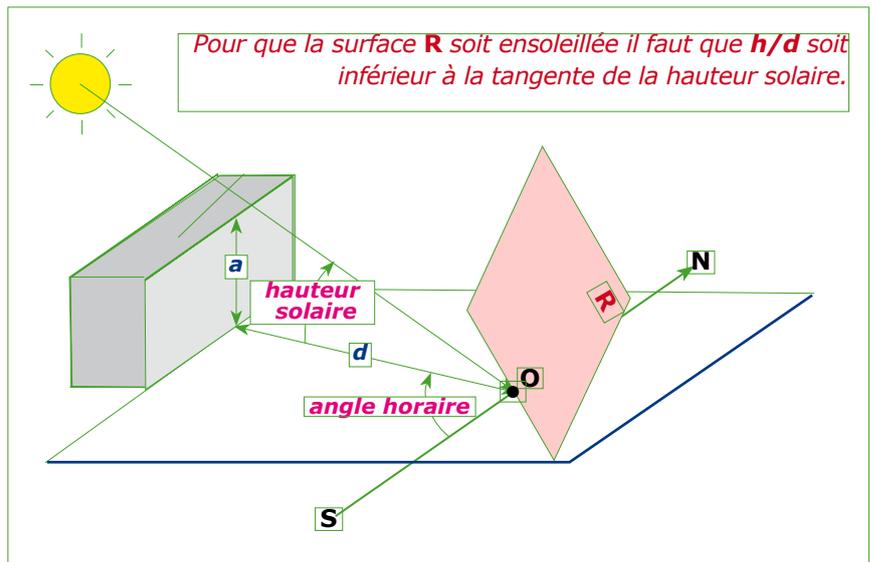
. figure **B** : pour la saison froide (décembre),

. figure **C** : en mi-saison (mars),

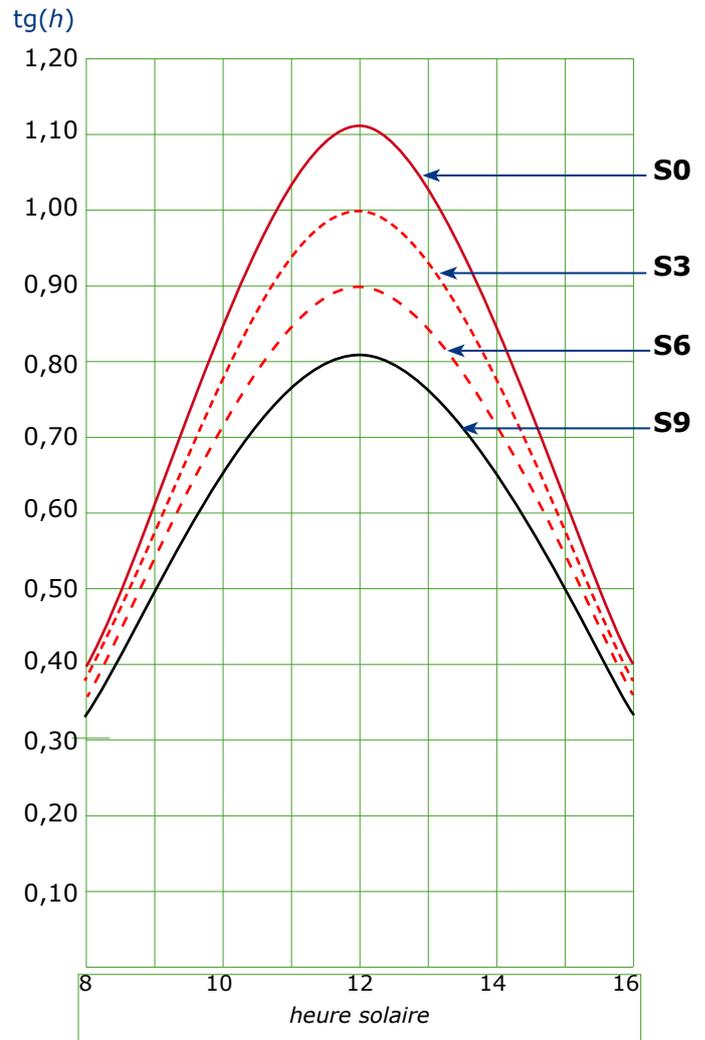
. figure **D** : pour la saison chaude (juillet).

**Pour les zones solaires non représentées (ex. S1), interpoler** (ex. le tiers du chemin entre S0 et S3).

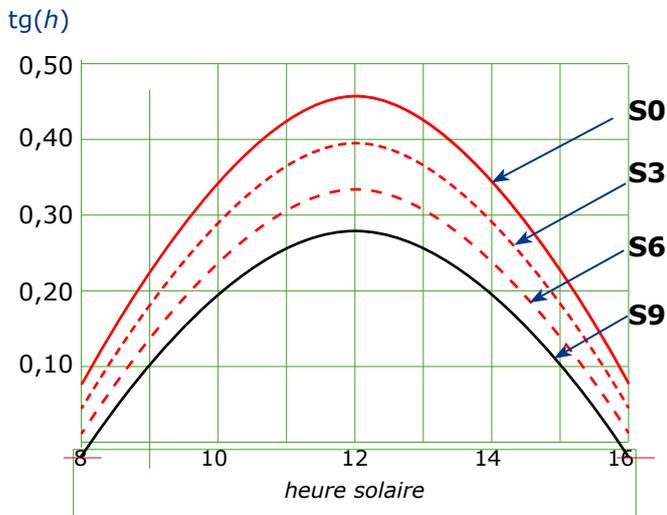
Grâce à la définition de la zone solaire (table A) et aux schémas B et C on peut, par exemple, évaluer la durée d'ensoleillement d'une façade quelconque pendant la période hivernale (calcul des apports).



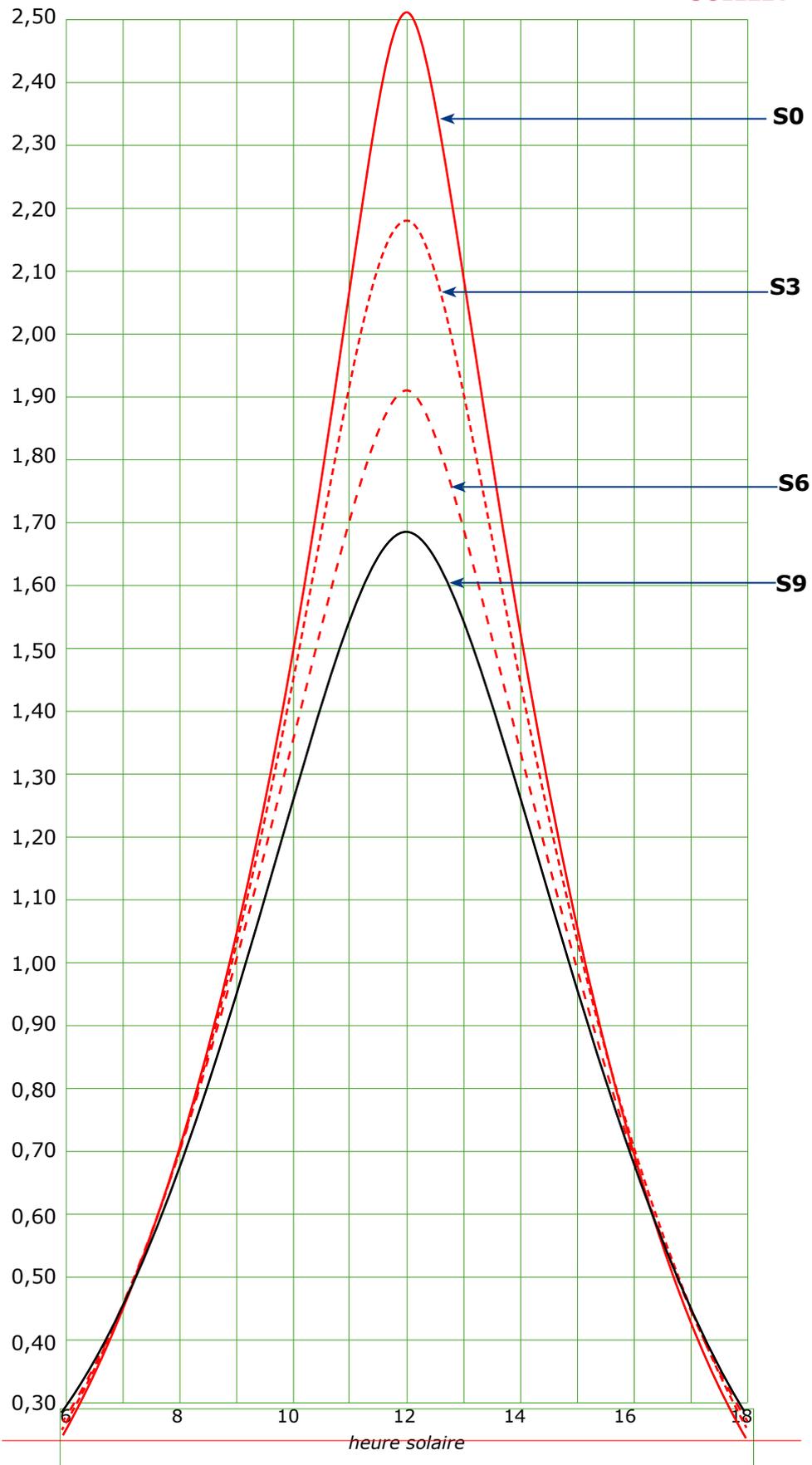
### C. hauteur (tangente) apparente du soleil MARS



### B. hauteur (tangente) apparente du soleil DÉCEMBRE



D. hauteur (tangente) apparente du soleil  
**JUILLET**



## 1.03. Les flux solaires

### LA CONSTANTE SOLAIRE

Dans les calculs solaires on fait souvent référence au flux  $[W/m^2]$  reçu du soleil aux confins du globe terrestre. Ce flux est ce qu'on appelle la **constante solaire**, dont la valeur (exprimée en *flux direct* : voir plus loin) est généralement fixée à  $1353 [W/m^2]$ .

### LES FLUX SOLAIRES AU SOL

Le flux reçu au sol, par ensoleillement, comporte deux composantes :

- le **flux direct**, reçu directement du soleil  $[W/m^2]$ , mesuré **perpendiculairement** au rayon,
- le **flux diffus**, provenant des rediffusions célestes, mesuré **horizontalement** au sol  $[W/m^2]$ .

On parle également de **flux global**  $[W/m^2]$  pour caractériser la somme (au sol et horizontalement) des deux flux (direct et diffus).

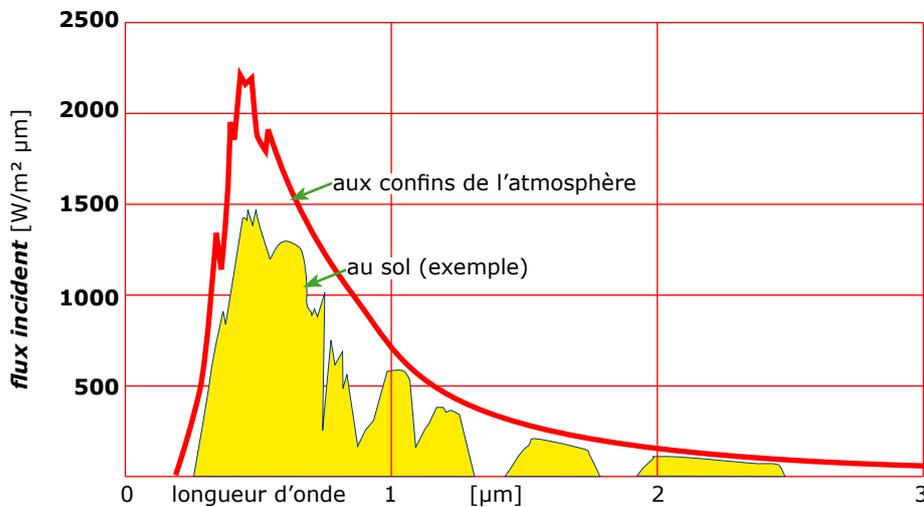
Attention, comme ces deux flux correspondent à des surfaces réceptrices différentes, il ne faut pas les additionner directement : il faut utiliser la formule suivante pour le flux global  $\Phi_{\text{global}} [W/m^2]$  :

$$\Phi_{\text{global}} = \Phi_{\text{diffus}} + \sin(h) \cdot \Phi_{\text{direct}}$$

$h$  étant la **hauteur solaire** (diagrammes précédents).

N. B. Face à ces définitions on parle également de **rayonnement global**, de **rayonnement direct** et de **rayonnement diffus**.

En fait il s'agit là de valeurs globales, cachant des répartitions par longueur d'onde assez complexes, chaque longueur d'onde correspondant à un comportement et à des valeurs spécifiques. La figure ci-dessous illustre une situation type («masse d'air» égale à 1). Noter, toutefois, qu'ici la prise en compte des longueurs d'onde se limite à un rôle explicatif, les calculs énergétiques réels s'effectuant globalement, et non pas longueur d'onde par longueur d'onde.



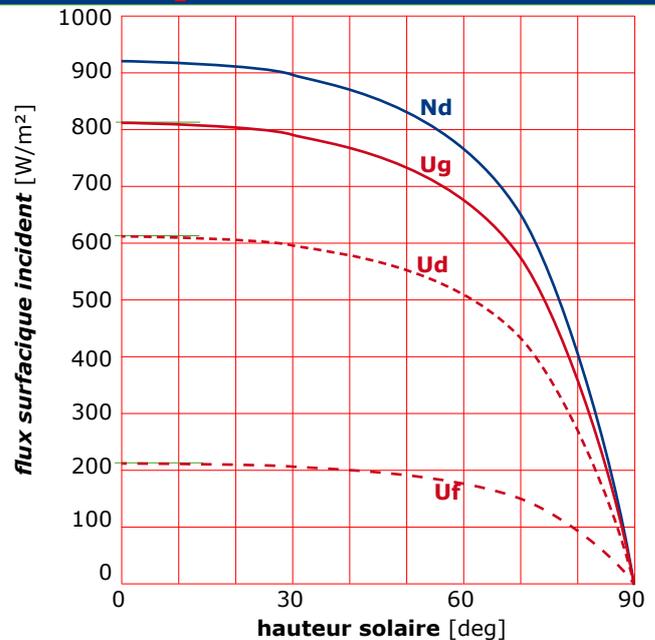
## 1.04. L'influence de l'atmosphère

Plus le soleil est couché sur l'horizon plus les rayons solaires doivent traverser d'atmosphère, et plus ils sont absorbés. Ce qui se répercute sur les résultats indiqués au schéma ci-contre, illustrant l'effet de l'angle solaire, donc de l'inclinaison du soleil sur l'horizon. Les courbes correspondent aux situations suivantes :

- Nd** : **flux direct normal**,
- Ug** : **flux global en zone urbaine** type (avec une atmosphère un peu chargée),
- Ud** : **flux direct en zone urbaine** type,
- Uf** : **flux diffus en zone urbaine** type.

Le flux «normal» (**Nd**) est celui qui correspond aux atmosphères extra-urbaines, et peut servir de référence. A noter que tous ces résultats dépendent :

- de la propreté de l'atmosphère, d'où les variations selon les sites industriels ou urbains,
- de l'humidité de l'air, les valeurs dans les zones désertiques par exemple, étant plus élevées.



## 2. LE SOLAIRE PASSIF

### 2.01. Système actifs et systèmes passifs

#### LE CLASSEMENT DES SYSTÈMES SOLAIRES

Il est classique de distinguer :

- . le **solaire thermique passif**,
- . et le **solaire thermique actif**.

On appelle «**solaire passif**» toute technique qui permet de réduire les besoins de chauffage grâce à une conception spécifique du bâti, *sans recourir - sauf pour l'appoint - à des installations dynamiques* telles que celles que nous examinerons dans le cadre du solaire actif.

#### LE SOLAIRE ACTIF

Le solaire actif utilise des **capteurs solaires** définis au chapitre 4 de ce livret.

#### LE SOLAIRE PASSIF

Nous retenons ici deux procédés :

- . la récupération **par les vitrages** (§ 2.02),
- . l'utilisation de murs extérieurs sous la forme que nous appelons **héliodynamique** (§ 2.03).

### 2.02. Les apports par les vitrages

Les apports par les vitrages sont, ici, calculés en utilisant le symbole suivant :  $\Sigma \{ \}$  représente la somme de toutes les valeurs entre parenthèses (tous les vitrages). Par exemple :

$$a_v = \Sigma \{ S_v \cdot a_v'' \}$$

formule où :

- .  $a_v$  [kWh/an] est les apports annuels par les vitrages,

.  $S_v$  [m<sup>2</sup>] est la surface de vitrage pour une orientation donnée,

.  $a_v''$  [kWh/m<sup>2</sup> an] représente les apports surfaciques pour un vitrage type d'une d'une orientation et d'une zone données, les valeurs étant fournies par la table ci-dessous (les zones d'ensoleillement sont définies page 5, table A).

**APPORTS SOLAIRES TYPES  $a_v''$  [kWh/m<sup>2</sup> an]**

Zone (DCH)	Orientation								
	S	S-SE S-SW	SE SW	E-SE W-SW	E W	E-NE W-NW	NE NW	N-NE N-NW	N
<b>S1</b> (300 h)	490	480	450	380	330	270	210	170	150
<b>S2</b> (280 h)	460	440	410	320	280	210	170	140	130
<b>S3</b> (260 h)	440	430	380	290	250	190	140	120	110
<b>S4</b> (240 h)	420	400	360	280	240	180	130	120	110
<b>S5</b> (230 h)	410	400	350	270	230	170	130	110	100
<b>S6</b> (220 h)	410	390	340	250	210	150	120	100	100
<b>S7</b> (210 h)	410	390	330	230	200	140	110	90	90
<b>S8</b> (200 h)	430	400	340	230	200	140	100	80	80
<b>S9</b> (200 h)	450	420	360	240	200	140	100	80	80

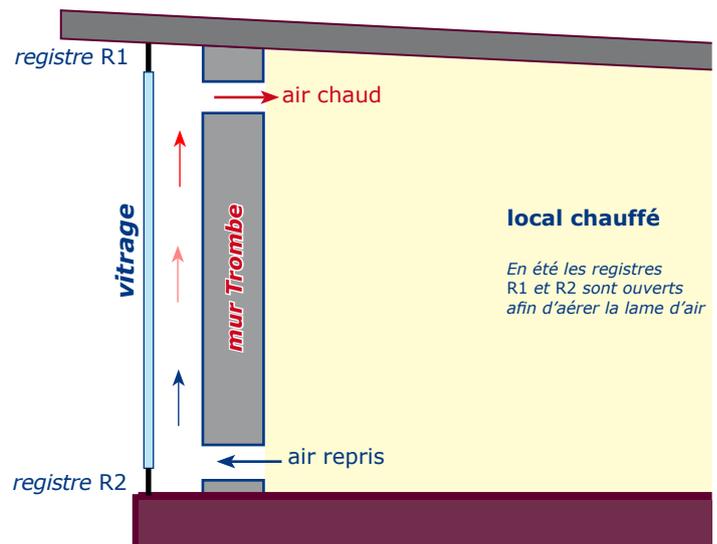
Les valeurs entre parenthèses de la première colonne (DCH) indiquent la durée de chauffage pour laquelle les valeurs indiquées des apports sont calculées. Si, pour une raison ou pour une autre (altitude par exemple) la durée de chauffage est différente, corriger au prorata. Le calcul étant également effectué pour des vitrages simples normaux, dans un cas différent corriger au prorata. De toutes faons voir les livrets détaillés pour plus de facilités.

## 2.03. Les systèmes héliodynamiques

En dehors de la solution qui consiste à utiliser - pour le chauffage d'ambiance - les apports gratuits à travers les vitrages normaux, le solaire thermique passif est essentiellement représenté par le «**mur Trombe**» (du nom de son auteur), illustré ci-contre. L'air ascendant, contenu dans la lame d'air derrière le vitrage, s'échauffe sous l'action du soleil, et se répartit alors dans le local arrière.

Ce système n'a connu que très peu d'applications. De plus son efficacité est, malheureusement, insuffisante dans le cadre des développements actuels.

### **Principes du mur Trombe**



# 3. LE SOLAIRE D'ÉTÉ

## 3.01. Les échelles de temps

Dans les problèmes touchant la **climatisation** il est nécessaire de mesurer le temps en **heure légale**. Comme la position du soleil (voir § 1.01) est fixée par l'**heure solaire**, il est nécessaire de pouvoir passer d'un repère à l'autre, le cadre ci-contre indiquant les formules indispensables pour y parvenir. Dans ces conditions la position du soleil peut toujours être fixée par rapport à l'**heure solaire**, mais en déterminant celle-ci à partir de l'**heure légale**. Les démarches ci-contre soulignent que l'heure légale, en France, varie selon qu'on se situe en heure d'hiver ou en heure d'été.

N.B. Dans toutes les formules ici présentées :

. le **temps** est mesuré en **heure** et **fraction décimale** de l'heure [h],

. et la **longitude** est mesurée en **degré** [deg] par rapport au méridien de référence.

### LES ECHELLES DE TEMPS

1. Le **temps solaire vrai** est noté  $t_{sv}$  .

2. Le **temps solaire moyen**, noté  $t_{sm}$ , vaut :

$$t_{sm} = t_{sv} - \text{EQT}$$

EQT étant l'équation du temps (correctif de la rotation irrégulière de la terre), dont on prend généralement la moyenne mensuelle (voir table I).

3. Le **temps universel**, temps solaire moyen au méridien de référence, noté  $t_u$ , vaut :

$$t_u = t_{sm} + (L/15)$$

$L$  étant la longitude [deg] du site.

4. Le **temps légal**, noté  $t_{leg}$ , est donné par les relations

. en heure d'hiver :  $t_{leg} = t_u + 1$

. en heure d'été :  $t_{leg} = t_u + 2$ .

Ce qui conduit à la relation générale suivante fournissant le temps solaire à partir du temps légal :

. en heure d'hiver :  $t_{sv} = t_{leg} + \text{EQT} - 1 - (L/15)$

. en heure d'été :  $t_{sv} = t_{leg} + \text{EQT} - 2 - (L/15)$

## 3.02. Les paramètres solaires de base

Les échelles de temps (paragraphe ci-dessus) font ressortir le rôle d'un paramètre nouveau : l'**équation du temps** EQT. On en prend généralement la valeur moyenne mensuelle (tables ci-dessous).

Il nous faudra y ajouter la **déclinaison**, angle qui fixe

la position de la terre par rapport au soleil, dont nous n'utiliserons ici que le **sinus** (noté ici **sD**) et le **cosinus** (noté ici **cD**), lignes trigonométriques pour lesquelles nous adoptons également les moyennes mensuelles (voir tables ci-dessous).

mois	EQT	sD	cD
janvier	- 0,19	- 0,339	0,941
février	- 0,23	- 0,181	0,983
mars	- 0,12	0,006	1,000
avril	0,02	0,207	0,978
mai	0,06	0,346	0,938
juin	- 0,03	0,398	0,917

mois	EQT	sD	cD
juillet	- 0,10	0,349	0,937
août	- 0,05	0,208	0,978
septembre	0,02	0,010	1,000
octobre	0,26	- 0,187	0,982
novembre	0,23	- 0,342	0,940
décembre	0,03	- 0,398	0,917

## 3.03. Les paramètres complémentaires

Les échelles de temps (paragraphe 3.01) font apparaître le rôle de la longitude ( $L$ ), et de la période (été/hiver). Pour en simplifier l'emploi nous adoptons les expressions suivantes (cf cadre du § 3.01) :

. en heure d'hiver :  $t_{sv} = t_{leg} + \text{EQT} - 1 + \Delta$

. en heure d'été :  $t_{sv} = t_{leg} + \text{EQT} - 2 + \Delta$

$\Delta$  ayant les valeurs indiquées au tableau de la page suivante en fonction de la région administrative à laquelle appartient le site étudié.

Nous adopterons le même classement (par région) pour les lignes trigonométriques utilisées par la suite :  $\sin(lat)$  noté **sl** et  $\cos(lat)$  noté **cl**,  $lat$  étant la latitude.

région	$\Delta$	$sl$	$cl$
Nord	- 0,2	0,783	0,6229
Picardie	- 0,2	0,760	0,6469
Basse-Normandie	- 0,1	0,760	0,649
Haute-Normandie	- 0,1	0,755	0,656
Région parisienne	- 0,1	0,749	0,663
Champagne-Ardennes	- 0,3	0,755	0,656
Lorraine	- 0,4	0,755	0,656
Alsace	- 0,5	0,749	0,663
Bretagne	0,1	0,749	0,663
Pays de Loire	0,2	0,737	0,676
Centre	- 0,1	0,737	0,676

région	$\Delta$	$sl$	$cl$
Bourgogne	- 0,3	0,731	0,682
Franche-Comté	- 0,4	0,731	0,682
Poitou-Charentes	0	0,719	0,695
Limousin	- 0,1	0,713	0,701
Auvergne	- 0,2	0,713	0,701
Rhône-Alpes	- 0,3	0,707	0,707
Aquitaine	0	0,701	0,713
Midi-Pyrénées	- 0,1	0,688	0,725
Languedoc-Roussillon	- 0,2	0,688	0,725
Provence-Côte d'Azur	- 0,4	0,695	0,719
Corse	- 0,5	0,669	0,743

### 3.04. Les positions solaires

La position du soleil peut être caractérisée par les deux coordonnées suivantes (schéma ci-contre) :

- l'**angle horaire**  $\beta$  fixant la position du soleil au-dessus de l'horizon,
- l'**azimut solaire**  $\eta$  fixant la direction du soleil par rapport aux points cardinaux.

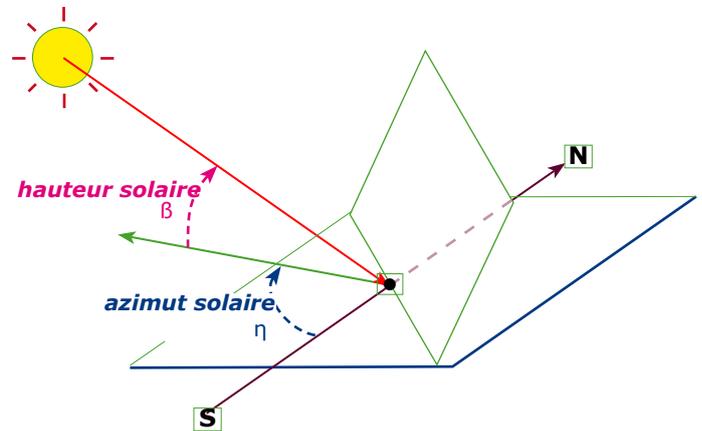
Ces coordonnées peuvent être calculées au moyen des formules suivantes,  $a_{hor}$  [deg] étant l'angle horaire et  $t_{sv}$  le temps solaire vrai (voir § 3.01) :

$$a_{hor} = 15 t_{sv} - 180$$

$$\sin(\beta) = sl \cdot sD + cl \cdot cD \cdot \cos(a_{hor})$$

$$\cos(\eta) = (sl \cdot \sin(\beta) - sD) / (cl \cdot \cos(\beta))$$

les valeurs  $sD$ ,  $cD$ ,  $sl$ ,  $cl$  étant fournies par les tableaux précédents.



# 4. LE SOLAIRE ACTIF

## 4.01. Les différents capteurs thermiques

Les capteurs (thermiques) solaires utilisés localement appartiennent à l'une des quatre catégories suivantes :

- . ou bien il s'agit d'**absorbeurs**, éléments simples permettant de réchauffer l'**eau des piscines** intérieures ou extérieures de quelques degrés (3 à 4 K en général),
- . ou bien il s'agit de **capteurs plans à eau** les plus courants en France, utilisés surtout dans les services d'eau chaude,

- . ou bien il s'agit de **capteurs plans à air**, destinés aux installations de chauffage, *très rares en France*,
- . ou bien il s'agit de **capteurs à tubes sous vide**, fournissant un fluide (frigorigène en général) à d'assez hautes températures, capteurs surtout destinés à des installations spécifiques, assez rares en France.

Les indications qui suivent concernent uniquement les capteurs à eau ou fluide frigorigène.

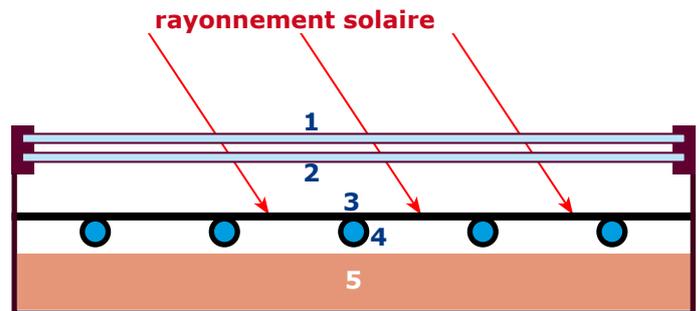
## 4.02. Les capteurs plans

### LES PRINCIPES DES CAPTEURS À EAU

Les capteurs les plus courants sont conçus comme il est indiqué ci-contre. Ils utilisent l'eau comme fluide caloporteur.

#### Principes du capteur plan à eau

- 1 et 2 : vitrages
- 3 : plaque absorbante (plaque métallique noire)
- 4 : tube (eau) évacuant la chaleur reçue par la plaque
- 5 : isolant



### LES ABSORBEURS

Les modèles de capteurs les plus simples ne comportent pas de vitrage : ce sont les **absorbeurs**, utilisés pour un léger réchauffage d'eau de piscine. Ce sont, aujourd'hui, des nattes ou des ensemble de tubes en matériaux de synthèse, peu coûteux. Nous les signalons ici pour mémoire car il s'agit d'équipements de commodité sans calcul précis. L'emploi plus systématique des absorbeurs fait actuellement l'objet d'études.

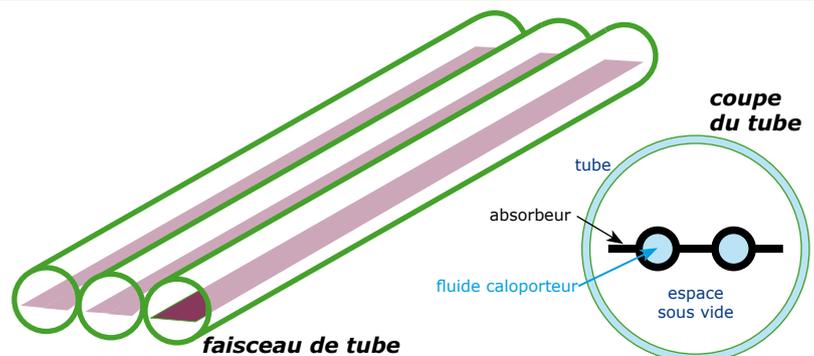
### LES CAPTEURS À AIR

Peu utilisés actuellement les **capteurs à air** fonctionnent schématiquement comme indiqué ci-dessous.



## 4.03. Les capteurs à tubes sous vide

Pour améliorer le rendement des capteurs, et surtout pour pouvoir atteindre des températures de fluide caloporteur suffisamment élevées, ont été mis au point des capteurs à base de **tubes sous vide**. Plusieurs configurations ont été tentées, la solution la plus simple figurant ci-contre, les tubes étant regroupés sous la forme de panneaux plans.



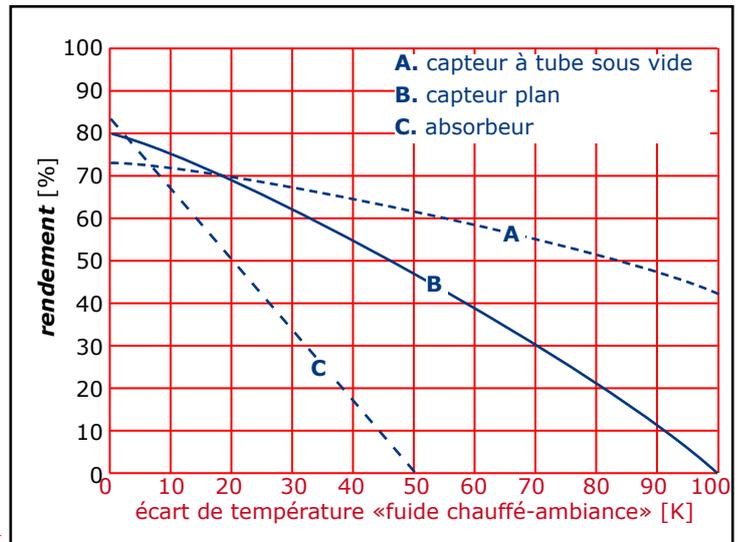
## 4.04. Le rendement des capteurs thermiques

### LES COURBES NORMALISÉES DE RENDEMENT

Les capteurs thermiques sont caractérisés par leur courbe de rendement, établie **pour un flux solaire incident donné**. Vous trouverez au schéma ci-contre trois courbes types, correspondant aux catégories de base que nous venons de décrire (capteurs à air exclus). Ces courbes sont fournies pour un flux solaire incident de  $1000 \text{ [W/m}^2\text{]}$ , l'abscisse étant l'écart de température entre le fluide chauffé et l'air environnant le capteur.

De tels résultats doivent être fournis pour chaque modèle de capteur commercialisé, avec référence à la norme d'essai (EN 12975, 12976, 12977).

Exemples de courbes de rendement →



### REMARQUES SUR LA PRÉSENTATION DU RENDEMENT

La présentation des rendements peut varier avec les conventions (ci-dessus normalisées). Si, pour analyser les performances d'un capteur, on adopte en abscisse  $x$  le paramètre :

$$x = (T_f - T_e) / \Phi'' \quad [\text{m}^2 \text{ K/W}]$$

les courbes de rendement sont souvent linéaires et générales (indépendantes du flux).

### ANALYSE DES PERFORMANCES DE CAPTEURS (méthode analytique, hors norme EN)

$T_f$  et  $T_e$  [°C] = température moyenne de fluide chauffé et température extérieure,  
 $\Phi''$  [W/m<sup>2</sup>] = flux surfacique solaire global incident.

## 4.05. Le montage des capteurs thermiques

Le montage des capteurs thermiques varie selon l'application, avec généralement plusieurs solutions possibles par application. C'est donc au sein de celles-ci que ces montages seront présentés, ne correspondant pas tous aux mêmes contraintes et recommandations d'emploi.

## 4.06. Les capteurs photovoltaïques

Ces capteurs sont examinés au livret L06 (Les productions électriques) auquel il convient de se reporter.