

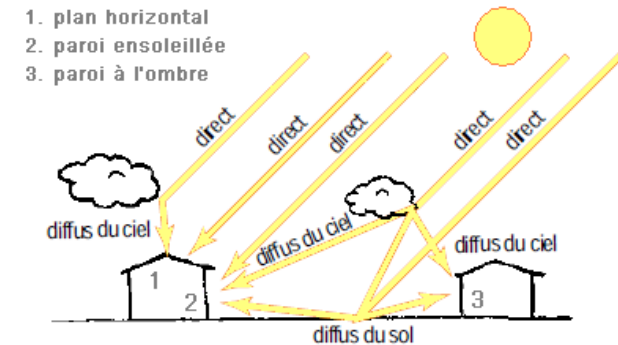
#### LES PROTECTIONS SOLAIRES

##### Principe

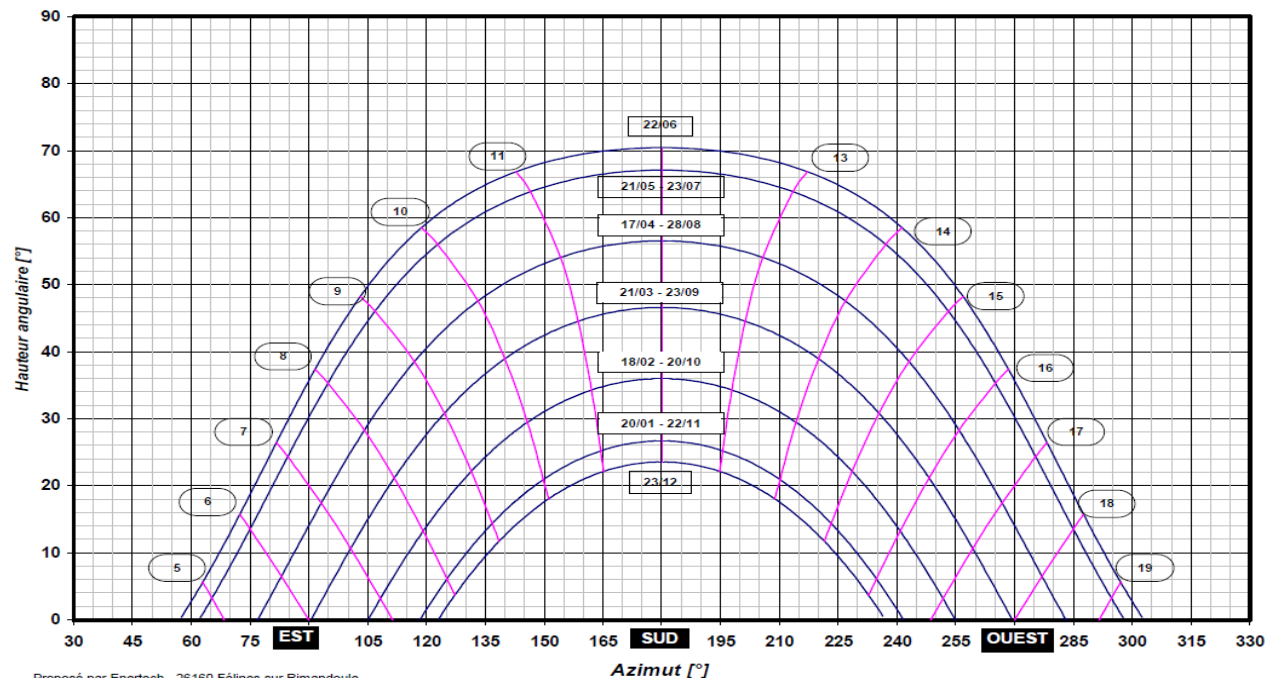
L'un des concepts de base de l'architecture bioclimatique en climat chaud est la **protection du bâti face aux rayons solaires**. En effet, en été, un bâtiment mal protégé du soleil est le siège de surchauffes, donc de conditions thermiques inconfortables. La conception d'une protection solaire estivale efficace est par conséquent fondamentale pour qu'un **bâtiment soit thermiquement et énergétiquement performant**.

**Assurer le confort d'été** exige de mettre en place une stratégie du froid. Celle-ci consiste à protéger le bâtiment, et particulièrement ses ouvertures, de l'ensoleillement direct afin de **limiter les gains directs** et revient à **ériger des écrans**, extérieurs si possible, qui le mettent à l'ombre. Ces écrans peuvent être permanents, amovibles ou saisonniers (végétation). Ils permettent d'arrêter, de réfléchir ou de freiner les flux solaires. Les dispositifs de protection, leurs formes et leurs dimensions dépendent de l'orientation de la surface à protéger, car c'est elle qui détermine la quantité d'énergie solaire incidente.

**Toutes les parois extérieures du bâtiment**, qu'elles soient transparentes ou opaques, sont concernées par les protections solaires, dans cette fiche nous traiterons uniquement les parois vitrées.



**Ensoleillement sur les différentes parois**  
Source : [www.regionpaca.fr](http://www.regionpaca.fr)



Proposé par Enertech - 26160 Félines sur Rimandoule

**Diagramme solaire – latitude 43°N - Marseille**

##### Paramètres techniques

###### L'exposition solaire

Afin de définir le système qui permettra d'intercepter tout ou partie du rayonnement solaire avant qu'il ne réchauffe l'espace intérieur on se basera tout d'abord sur une étude de la course du soleil aux différentes saisons et de son angle d'incidence sur les différentes parois.

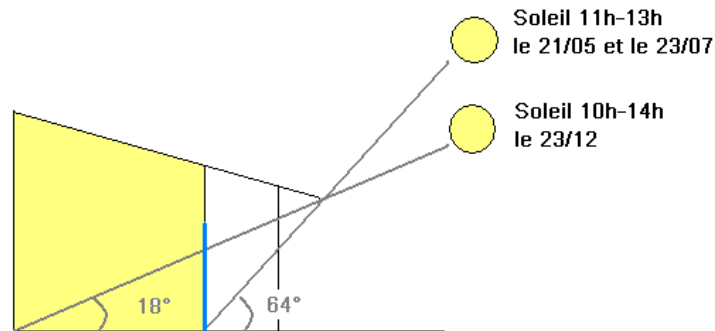
Pour cela on utilisera le **diagramme solaire**.

En effet, selon la date, l'heure et l'orientation, l'exposition solaire est différente. Le diagramme solaire montre la position du soleil à tout moment. A gauche, l'exemple du diagramme solaire de la ville de Marseille.

#### L'Ombre portée par l'environnement

En ville, l'environnement bâti projette souvent une ombre sur le voisinage, ayant ainsi un rôle d'écran fixe. 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.

La meilleure façon de la visualiser est de dessiner, pour chaque orientation, un diagramme solaire sur lequel on reporte la hauteur des immeubles voisins, faisant ainsi apparaître les **masques environnants**. Ce diagramme permet de visualiser l'origine du rayonnement solaire et donc le type et la position des protections. Il permet également de prendre en compte l'ombre portée par les arbres en été.



#### Exemple de calcul d'un auvent horizontal

Source : la conception bioclimatique, S. Courgey, JP. Oliva



Menton et ses petites rues



Ruelles de Gênes

Le schéma de gauche montre comment calculer la **profondeur d'une casquette** en façade sud afin qu'elle protège totalement du rayonnement solaire en juin et juillet, entre 13 et 15h (heures légales), à Marseille (43° nord). A ces heures, la hauteur du soleil est de 64° (voir diagramme), il suffit de rapporter l'angle sur la coupe de la baie pour obtenir le débord souhaité.

#### Les protections et masques végétaux

Chaque fois que cela sera possible, l'utilisation de la végétation environnante permettra de moduler les apports solaires en fonction des saisons. Qu'ils soient attenants au bâtiment comme les treilles ou pergolas végétalisées, ou plus lointains comme les arbres de haute tige à feuillage caduc, l'intérêt de ces dispositifs naturels est que leur rythme végétatif annuel accompagne les besoins du bâtiment. Leur ombre portée est rafraîchissante en été, et l'absence de feuilles en hiver permet au rayonnement solaire d'atteindre la façade. Le choix des essences et des orientations pour les arbres est important : dimension du masque, date de chute des feuilles, ombre portée par la charpente de l'arbre en hiver, qui peut varier énormément d'une essence à l'autre.

Le traitement des sols environnant le bâtiment revêt aussi une importance non négligeable pour éviter le rayonnement réfléchi. Leur végétalisation permet à la fois de réduire l'albédo pendant la journée, et de limiter leur réchauffement par l'évapotranspiration de l'herbe. Cela réduit leur rayonnement et leur réchauffement pendant le jour et facilite le rafraîchissement nocturne.

## Protection solaire des parois transparentes

### Principe

La nature des baies vitrées, leur protection solaire et leur gestion conditionnent de manière importante le confort au sein d'un bâtiment, que ce soit en hiver ou en été. **Les deux fonctions principales d'une baie vitrée et de la protection solaire**, qui lui est généralement associée, sont **d'assurer**:

- **le confort visuel** : accès à la lumière naturelle, limitation des consommations d'éclairage artificiel, limitation des risques d'éblouissement, préservation de l'intimité, contact visuel avec l'extérieur, ...
- **le confort thermique** : en été, limiter la pénétration du flux solaire énergétique et ainsi éviter autant que possible les surchauffes et/ou limiter les consommations de climatisation ; en hiver, favoriser les apports d'énergie solaire pour diminuer les consommations de chauffage.

En climat méditerranéen, il est particulièrement important de veiller à ce que la fonction de capteur thermique des baies en hiver ne pénalise pas le confort d'été. Les objectifs pour les jours ensoleillés sont de deux ordres : **éviter les surchauffes et contrôler l'éblouissement**.

### Rappel sur l'effet de serre

Les corps transparents laissent passer **le rayonnement infra-rouge** de courte longueur d'onde, mais s'opposent au passage des infra-rouges à grande longueur d'onde. Lorsque les rayons du soleil frappent un vitrage, celui-ci laisse passer une partie du rayonnement visible et les infra-rouges de courte longueur d'onde. Cette part du rayonnement solaire qui traverse le vitrage est alors absorbée par **les parois du local qui s'échauffent**. Celles-ci réémettent alors dans toutes les directions un rayonnement thermique. Et, parce qu'il est composé d'infra-rouges de grande longueur d'onde, ce rayonnement perd alors sa capacité à traverser les parois transparente. Il est ainsi piégé à l'intérieur et contribue alors au réchauffement de l'ambiance.

**Les protections extérieures sont donc les plus efficaces pour assurer le confort d'été car elles stoppent le flux thermique avant qu'il ne pénètre dans le bâtiment.**

### Le facteur solaire

Le principal indicateur de l'efficacité d'une protection solaire est le facteur solaire.

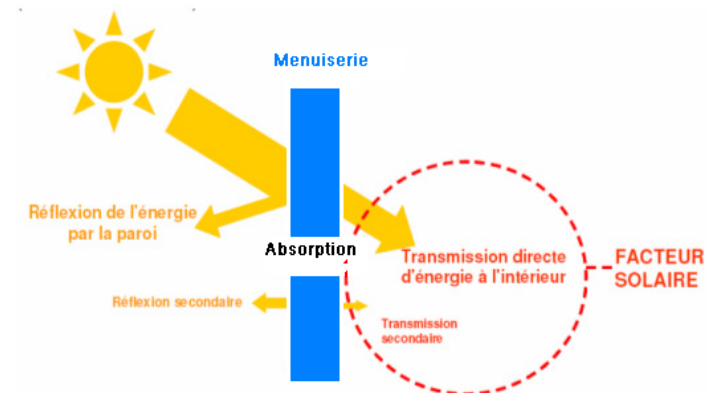
Le facteur solaire définit **la proportion de rayonnement solaire traversant la paroi par rapport au rayonnement qui l'atteint** (flux énergétique incident). Le facteur solaire est la somme de la partie transmise du flux énergétique et de la partie absorbée réémise vers l'intérieur du local (cf. figure de droite).

Le calcul du facteur solaire d'une baie vitrée, incluant vitrage, menuiserie et protection solaire, est mené suivant les normes NF EN 13363, parties 1 et 2 ([1],[2]).

Le facteur solaire dépend principalement :

- des caractéristiques énergétiques et thermiques du vitrage
- des caractéristiques énergétiques de la protection solaire
- de la position de la protection solaire par rapport au vitrage (extérieure, intérieure ou intégrée)

Le facteur solaire (FS) est un coefficient compris entre 0 et 1. En climat méditerranéen, une bonne protection solaire devrait afficher un facteur solaire de 0,15 (seulement 15% de l'énergie arrivant sur la baie la traverse).



**Facteur solaire**  
[www.oxxobatiments.fr](http://www.oxxobatiments.fr)

Solutions possibles	Facteur solaire recherché et adéquation					Observations
	0.1	0.15	0.25	0.45	0.65	
Fermetures extérieures	oui*	oui	oui	oui	oui	*selon teinte et isolation
Stores extérieurs	certain cas <sup>(1)</sup>	oui*	oui	oui	oui	*selon toile ou lames
Stores incorporés au vitrage	non	certain cas <sup>(1)</sup>	oui*	oui	oui	*selon toile ou lames
Stores intérieurs	non	non	certain cas <sup>(1)</sup>	oui*	oui	*selon toile ou lames
<sup>(1)</sup> : le facteur solaire de la baie dépend également du vitrage, de la position de la baie dans l'épaisseur du mur... Dans les cas intermédiaires il est nécessaire de prendre en compte ces paramètres pour justifier du respect de l'exigence réglementaire						

La valeur du facteur solaire peut être obtenue par un calcul, à l'aide d'un logiciel (par exemple FASOL\_V, [3]). Pour un confort d'été sans besoin de climatisation, la réglementation thermique propose cinq valeurs repères de facteurs solaires à atteindre par les baies selon leur orientation et la zone où se trouve le bâtiment. Pour les cinq valeurs, allant de 0.1 à 0.65, le tableau propose des solutions possibles d'utilisation de protection solaire.

Il dépend plus largement de l'angle d'incidence du flux solaire, donc de la position du soleil, de l'orientation de la baie et de la période de l'année. En été, l'orientation la plus défavorable est l'Ouest, car pour cette orientation, le moment où l'énergie solaire incidente est la plus forte correspond à celui où la température extérieure est la plus élevée. L'orientation Est reçoit la même quantité d'énergie, mais pendant la matinée, lorsque les températures sont plus basses. L'orientation Sud, elle, reçoit moins d'énergie du fait de la hauteur du soleil en été. Enfin, l'orientation Nord est celle qui est la mieux protégée contre le rayonnement solaire.

#### Facteurs solaires atteints suivant les types de protections solaires

Source : réglementation thermique, Guide de la protection solaire

#### Solutions techniques pour les protections solaires des parois transparentes

- **Les masques architecturaux (protections extérieures fixes)**

On distingue cinq effets principaux pour protéger des parois verticales:

**L'effet d'auvent**, constitué d'une avancée horizontale au dessus de la surface réceptrice : auvent, débord de toit, débord de dalle, balcon filant, brise-soleil horizontal, casquette, linteau de fenêtre, écran à lames horizontales.

**L'effet de flanc**, constitué par des pans verticaux à côté de la surface réceptrice : décrochement de façade, saillie de refends, tableau de fenêtre, écran à lames verticales.

**L'effet de loggia**, combine le auvent et les flancs: loggia, tableaux+linteau de fenêtre, balcon filant+séparation verticale, écran à lames croisées.

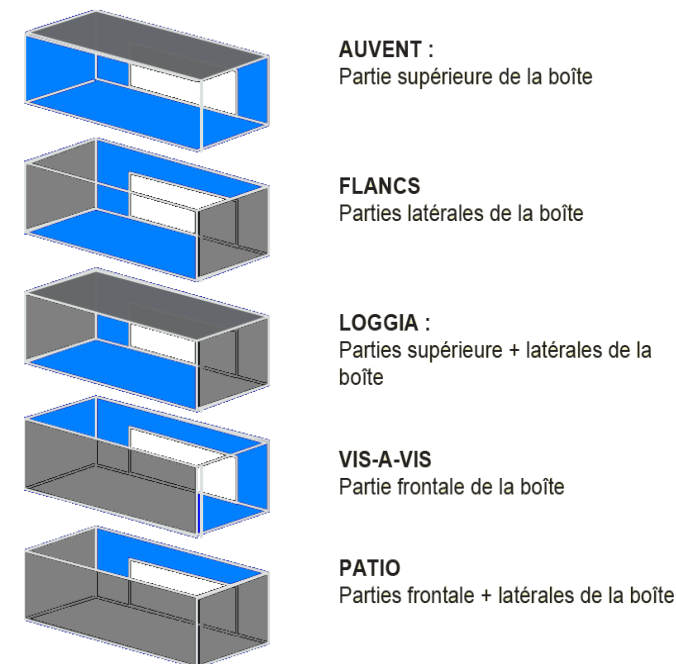
**L'effet de vis-à-vis**: façades en vis-à-vis, mur de clôture, haie végétale, garde-corps plein.

**L'effet de patio**: patio, cour intérieure, puits de lumière.

Quelque soit le type de masque choisi, il pourra être l'opportunité d'une valorisation architecturale.

Cependant il faudra être particulièrement attentif à son dimensionnement afin :

- qu'il n'atténue pas la transmission lumineuse et qu'il valorise au mieux l'éclairage naturel, en contribuant éventuellement à homogénéiser les niveaux d'éclairement à l'intérieur des locaux
- qu'il n'empêche pas la pénétration du rayonnement direct à des périodes où elle serait souhaitée, ou au contraire qu'il laisse pénétrer le soleil quand on ne le souhaite pas, générant des problèmes d'éblouissement, voire d'inconfort thermique.



#### Génération de masques architecturaux à partir d'une boîte entourant la baie

Source : La protection solaire architecturale, EnviroB.A.T

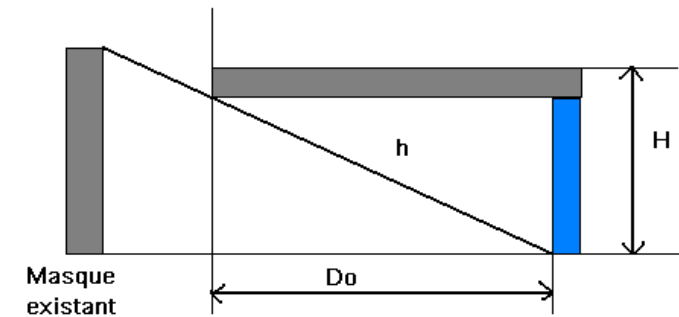
Selon l'orientation des façades, la solution technique et le dimensionnement seront donc différents. Suivant un test effectué, avec le logiciel le logiciel « *Ecran Solaire* » du Laboratoire ABC de l'ENSA-Marseille, il ressort que :

En orientation proche du **SUD** le salut en saison chaude vient des **éléments horizontaux** (balcons filants, débords de toit) ou comprenant des éléments horizontaux (loggias). Ces formes laissent passer le soleil d'hiver et occultent le soleil d'été si leur angle d'occultation est de l'ordre de 50°.

En orientation **EST et surtout OUEST**, ces formes sont beaucoup moins performantes en protection d'été, le soleil étant plus bas sur l'horizon (en moyenne voisin de 30°).

(Pour plus de précisions sur le test : [http://cdr.envirobat-med.net/IMG/pdf/Protection\\_Solaire\\_Archi.pdf](http://cdr.envirobat-med.net/IMG/pdf/Protection_Solaire_Archi.pdf))

Les masques et protections fixes sont généralement moins efficaces que les mobiles. En effet, un brise-soleil fixe donne la même ombre le 21 septembre, alors qu'il fait encore chaud et le 21 mars alors qu'il fait souvent froid et que les apports solaires pourraient être utiles. De plus ils ont un effet moindre sur les rayonnements diffus et réfléchis, qui, pendant l'été, représentent jusqu'à 50% de l'irradiation solaire d'une façade.



**Dimensionnement de la combinaison Auvent + Vis-à-vis pour offrir une protection solaire totale :  $Do = H/tgh$**   
Source : La protection solaire architecturale. EnviroB.A.T

- **Les protections solaires mobiles - extérieures et intérieures**



**Jalousie lyonnaise**



**Stores métal**

Source : Grinotex de Griesser

Pour palier les inconvénients des protections fixes, une solution consiste à prévoir des protections mobiles, manuelles ou motorisées. Ceci permet **d'adapter les protections aux conditions extérieures changeantes** (ensoleillement, hauteur du soleil). Les protections mobiles sont d'une grande variété possible, en fonction des objectifs à atteindre et des options architecturales : toiles, stores à lames, volets pleins ou persiennes, à ouvertures traditionnelles, roulants, coulissants, suspendus...

L'efficacité des protections mobiles dépend de leur emplacement par rapport au vitrage, de **leur opacité** et des possibilités **de ventilation de l'espace entre la fenêtre et la protection** (une bonne ventilation évite l'effet radiateur). D'une manière générale, les coûts d'investissement sont plus élevés pour les protections mobiles que pour les protections fixes, de même que les coûts de maintenance et d'entretien. Néanmoins, des solutions, à lames orientables et repliables, existent, comme les traditionnelles jalousies lyonnaises avec leurs lames en bois ou les stores industriels à lames métalliques.

La ventilation naturelle des bâtiments ne doit pas être altérée par la mise en place de protections solaire. Aussi on privilégiera les stores à lames, plutôt que les stores à toile. Les stores extérieurs pourront être installés à distance de la baie ou fixés sur le châssis ouvrant.

#### Protections intérieures

Les protections intérieures type stores ou rideaux même opaques sont peu efficaces sur le plan thermique. En effet, lorsque le rayonnement solaire a traversé le vitrage, il se trouve partiellement piégé et chauffe l'air entre la vitre et la protection (effet de serre). Ces protections intérieures sont surtout utiles pour lutter contre l'éblouissement. Elles doivent être associées à des protections extérieures. La couleur des protections **intérieures opaques doit être claire** pour gagner en efficacité. A noter que la réglementation thermique ne prend pas en compte les protections intérieures dans le calcul du facteur solaire.

Type de protection à l'arrière d'un vitrage simple	Sombre	Moyen	Blanc ou clair	Alu poli
Store vénitien à lames	0,65	0,56	0,48	0,39
Store rideau (américain)	0,70	0,53	0,35	-
Rideau isolant opaque ou volet intérieur	0,50	0,40	0,34	-

**Facteur solaire d'une protection solaire intérieure**

Source : [www.regionpaca.fr](http://www.regionpaca.fr)

#### Protections extérieures

La protection positionnée à l'extérieur du vitrage sera plus efficace : le même type de store permettra à une baie d'atteindre un facteur solaire de 0.15 placé en extérieur pour 0.45 placé en intérieur. Cependant elle sera aussi plus chère qu'une protection en intérieure.

Dans la réglementation thermique, le facteur de transmission solaire de la baie est déterminé à partir des caractéristiques certifiées des protections mobiles placées à l'extérieur. Le facteur solaire pris en compte est celui de l'ensemble constitué de la protection extérieure et de sa partie vitrée. A titre d'indication, le tableau de droite donne Valeurs indicatives du facteur solaire de protections extérieures mobiles

- **Les vitrages**

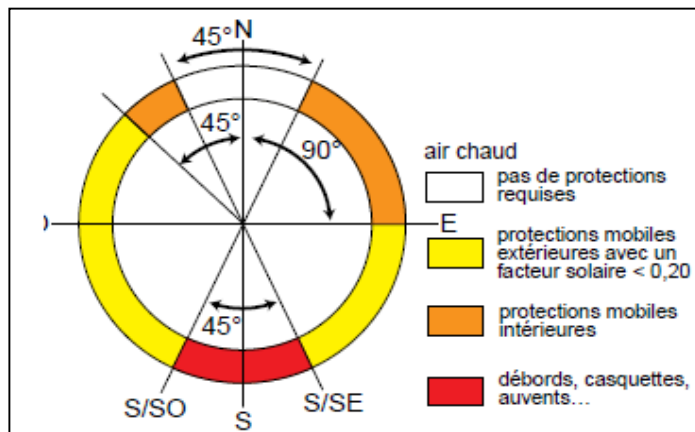
La nature du vitrage mis en œuvre peut également avoir une influence sur la transmission énergétique. Ces vitrages « anti-solaires » sont traités pour absorber ou réfléchir le rayonnement solaire. Cependant ils présentent en moyenne des facteurs solaires de l'ordre de 0,30 et diminuent fortement la transmission lumineuse. Ce sont donc des solutions peu performantes.

Type de protection extérieure mobile	Facteur solaire	Transmission lumineuse
Volets et persiennes	0,10	--
Store vénitien extérieur à lames orientables	0,10	++
Store à enroulement vertical toile opaque	0,10	--
Store à enroulement vertical toile moyennement translucide	0,20	-
Store à enroulement vertical toile très translucide	0,35	--
Store entre deux parois vitrées	0,35	-
Store banne, à l'italienne, à corbeille	0,40	+
Store à enroulement vertical	0,72	++

**Facteur solaire de protections extérieures mobiles**

Source : [www.regionpaca.fr](http://www.regionpaca.fr)

#### Principe généraux de choix des protections solaires



Le dimensionnement des protections solaires doit faire l'objet systématique d'une étude. Par exemple le traitement de certaines expositions SUD par casquette pourra nécessiter un complément par protections solaires mobiles.

#### Types de protections solaires selon les orientations

Source : traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique

#### Types de protections solaires adaptées selon les orientations

Le diagramme ci-dessous permet de déterminer les types de protections solaires adaptées selon les orientations. Par exemple, dans les bâtiments très ouverts au soleil sur la façade sud et ayant peu d'inertie, il est courant de souffrir de surchauffes dès les premières journées ensoleillées de janvier. Dans ce cas, des dispositifs de protections mobiles suppléent aux protections horizontales fixes qui ne sont efficaces qu'en été.

Du point de vue des apports solaires d'été, on peut caractériser ainsi les différentes orientations :

**Orientation Nord** : rarement de soleil direct, ce sont donc les éléments de réflexion extérieurs qui sont éventuellement à soigner. Ce principe permet de renvoyer la lumière vers le plafond, et évite l'éblouissement dû aux baies. Il peut être notablement amélioré si les lamelles ont un revêtement spéculaire (miroir).

**Orientation Sud** : c'est en général la plus facile à traiter, la hauteur du soleil étant importante lorsque ses apports énergétiques sont importants

**Orientation Ouest** : situation la plus difficile, car le soleil donne en fin de journée sur une façade surchauffée, à un moment où la température est élevée. Le soleil est dans un plan perpendiculaire à la façade lorsque sa hauteur est d'environ 30°.

**Orientation Est** : elle a les mêmes caractéristiques que l'orientation ouest, mais avec la surchauffe de la journée en moins, ce qui pose beaucoup moins de problèmes.

**Toiture** : c'est la partie la plus exposée en été, la hauteur du soleil, dépasse pendant environ 2 heures les 55°. Les vitrages horizontaux sont à proscrire car dans tous les cas ils sont sources de problèmes de surchauffe et d'inconfort thermique.

#### Comparaison des différents types de protection solaires extérieures

Ce tableau permet d'apprécier l'efficacité des différents types de protections solaires extérieures suivant les caractéristiques et résultats souhaités.

TYPE DE PROTECTION EFFICACITE et CARACTERISTIQUES	Brise-soleil à lames horizontales	Brise-soleil à lames verticales	Volet roulant ajouré	Store volet	Store toile	Volet à projection	Volet à la française	Treille végétale	Brise-soleil horizontal au vent	Brise-soleil à lames verticales	Avancée verticale flanc
	MOBILES								FIXES		
PROTECTION SOLAIRE SUR FACADE	4	Est/Ouest : 4	3	4	2 à 3	3	3	3	S.Est S./S.Ouest : 3 Est et Ouest : 1	1	1
OCCULTATION	2	2	4	4	2	3	PL = 4 PER = 2	2	1	0	0
CONTROLE DE L'ECLAIRAGE NATUREL	4	4	2	4	3	3	PL = 2 PER = 3	0	0	0	0
VENTILATION INTERIEURE	3	3	2	3	2	3	PL = 2 PER = 3	4	4 et 3	4	4
RAYONNEMENT DIFFUS ET REFLECHI	3	3	3	3	2 à 3	2	PL = 2 PER = 3	2	1	1	0
CONTROLE CONTRE L'INTRUSION	2	2	2	2	0	2	PL = 4 PER = 3	0	0	1 à 2	0
DURABILITE	2	2	2	2	1	2	PL = 4 PER = 3	3	3 à 4	3 à 4	3 à 4
COUT	\$\$\$\$	\$\$\$\$	\$\$	\$\$\$	\$	\$\$	\$	\$	\$\$	\$\$	\$
FACILITE DE MANŒUVRE	Manuel : 2 Auto : 4	Manuel : 2 Auto : 4	Manuel : 3 Auto : 4	Manuel : 3 Auto : 4	Manuel : 3 Auto : 4	3 project : 3	3	X	X	X	X
RESISTANCE AU VENT	2	2	3	2	1	2	4	3	3	3	3
POSSIBILITE D'AUTOMATISME	4	4	4	4	4	0	0	X	X	X	X
APPLICATION LOGEMENT	1	1	4	4	2	4	4	4	4	0	3
SCOLAIRE	3	3	3	3	4	2	1	1	4	3	3
SPORTIF	3	3	3	1	1	0	0	1	4	3	3
BUREAUX	4	4	3	4	4	1	1	1	4	3	3
DIVERS	A EVITER par VENT très VIOLENT. FRAGILE et BRUYANT si trop légers						fragilité au vent	PL= PLEINS PER=PER- SIENNES	entretien régulier à assurer		à associer avec auvent horizontal

EFFICACITE : 0 nulle ; 1 faible ; 2 moyenne ; 3 bonne ; 4 très bonne - COÛT : de faible (\$) à important (\$\$\$\$)

#### Efficacité et caractéristiques de plusieurs types de protections solaires extérieures

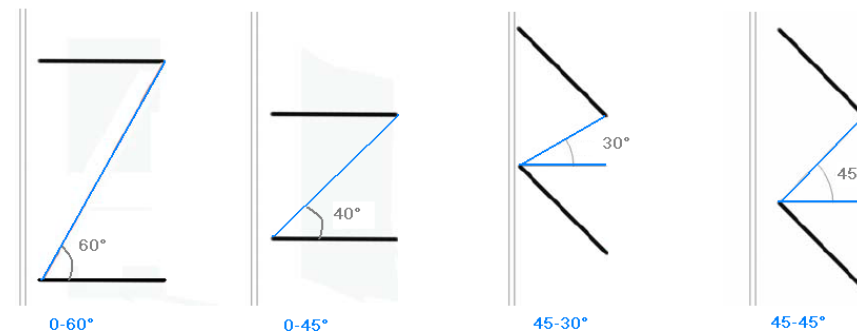
Source : [www.regionpaca.fr](http://www.regionpaca.fr)

#### Performances des écrans à lames

Les écrans à lames horizontales sont globalement plus performants que ceux à lames verticales. En été, ils sont très efficaces en orientation sud avec un angle d'occultation de 60°C (configuration « 0-60 »). Mais cette configuration provoque en hiver des pénétrations du soleil direct préjudiciables au confort visuel. Elle est donc peu appropriée par exemple à un usage de bureaux.

En orientations EST ou OUEST, la configuration la plus efficace pour protéger en été est la « 45-30 ».

Les illustrations ci-dessous permettent d'apprécier les performances des configurations selon l'orientation :



CONFIG		Sud	Sud-Est	Est	Nord-Est	Nord
Décembre	0-60°	Blue	Blue	Blue	Blue	Black
	0-45°	Blue	Blue	Blue	Blue	Black
	45-45°	Grey	Grey	Grey	Grey	Black
	45-30°	Black	Black	Black	Black	Black

Transmission Solaire



Bonne Moyenne Faible

CONFIG		Sud	Sud-Est	Est	Nord-Est	Nord
Juin	0-60°	Blue	Black	Black	Black	Black
	0-45°	Blue	Grey	Black	Black	Black
	45-45°	Blue	Blue	Grey	Black	Blue
	45-30°	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue

Protection Solaire



Bonne Moyenne Faible

#### Performances des écrans à lames

Source : La protection solaire architecturale, EnviroB.A.T

#### Pour aller plus loin...

- [www.regionpaca.fr](http://www.regionpaca.fr) (confort d'été, fiche 3 : protection solaire/isolation)
- La protection solaire architecturale – *enviroB.A.T, J.L. Izard, Sandra Buisson*
- Traité d'urbanisme et d'architecture bioclimatiques – *Alain Liébard et André de Herde*
- Mise en place de protections solaires fixes ou mobiles sur les façades exposées – *ADEME*
- Dispositifs de protection solaire combinés à des vitrages, calcul du facteur de transmission solaire et lumineuse – *Norme européenne*
- Architecture et contrôle de l'ensoleillement – *CERMA et ENSAN, Daniel Siret, Amina Harzallah*