



# **LA PROTECTION SOLAIRE ARCHITECTURALE**



**Jean-Louis IZARD  
Sandra BUSSON  
ENSA-Marseille**

# LA PROTECTION SOLAIRE ARCHITECTURALE

Jean-Louis IZARD  
Sandra BUSSON, étudiante en 2<sup>e</sup> cycle d'architecture  
Laboratoire ABC , ENSA-Marseille

## Introduction

Lorsqu'on choisit une forme pour le bâtiment en phase esquisse, on peut le faire de manière globale pour avoir un *coefficient de forme* favorable (voir l'article consacré à ce sujet), mais on peut aussi travailler le détail de ces formes pour qu'elles offrent des protections solaires d'été par **ombrage** des ouvertures. Il est donc important de savoir quelles sont les formes de base que l'on peut utiliser.

Ces formes architecturales peuvent être classées en deux catégories : les « structurales » réalisées en même temps que le gros-œuvre du bâtiment et les « non structurales » qui peuvent être rapportées lors de la réalisation du second œuvre. Cette distinction est motivée par le risque que l'on peut rencontrer dans tout programme de construction de ne pas réaliser complètement un équipement de protection solaire lorsque celui-ci est pris dans un lot « menuiseries », suite par exemple à un coût d'investissement jugé trop élevé.

L'objectif de cet article est de faire le point sur les performances « protection solaire » que l'on peut attendre de diverses formes de « masques architecturaux fixes » et ce pour diverses orientations et pour les saisons d'hiver et d'été. Cela va des effets architecturaux structuraux dus à la morphologie du projet jusqu'à des éléments non structuraux comme les écrans à lames. Au sujet de ces derniers, l'article traite de la question souvent posée qui concerne la position des lames : « horizontales » ou « verticales » ?

Enfin, pour les écrans à lames à axe horizontal, l'article aborde la question de l'influence de l'inclinaison du plan des lames et de leur équidistance sur la performance été-hiver en fonction de l'orientation de la façade.

## 1 - Les masques architecturaux

### 1-1. Typologie des principaux effets architecturaux d'ombrage

Chaque type de forme provoque des effets annuels de profils bien identifiés que seules les dimensions exactes de l'élément peuvent faire évoluer.

On distingue cinq effets principaux pour protéger des parois verticales:

- **L'effet d'auvent:** *auvent, débord de toit, débord de dalle, balcon filant, brise-soleil horizontal, linteau de fenêtre, écran à lames horizontales.*
- **L'effet de flanc:** *décrochement de façade, saillie de refends, tableau de fenêtre, écran à lames verticales.*
- **L'effet de loggia:** *loggia, tableaux+linteau de fenêtre, balcon filant+séparation verticale, écran à lames croisées (boîtes à oeufs).*
- **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.*

Pour la protection des parois horizontales, on peut ajouter à cette liste le « **Toit parasol** » qui peut se présenter sous forme d'une paroi pleine (type Le Corbusier à villa Shodan à Ahmedabad), ou sous la forme allégée d'un écran à lames (Type Mario Cucinella et une grande partie de l'architecture dite « high tech ».).

## 1-2. Performance comparée des types d'effets selon l'orientation

Avant le projet et en phase esquisse, il est intéressant de connaître l'efficacité de ces types d'effets dans l'orientation désirée et selon la saison.

A ce sujet on entend assez souvent s'exprimer l'idée que les masques dits « horizontaux » sont préférables en orientation Sud, mais qu'en orientation Ouest, des éléments verticaux seraient plus performants. Si c'est tout-à-fait exact pour l'orientation Sud, cela est beaucoup plus discutable concernant l'orientation Ouest, où l'avantage des éléments verticaux reste à démontrer et est même carrément douteuse dans certains cas.

Le mieux est de vérifier cela avec des moyens adéquats.

### Protocole du test.

Les cinq formes de base sont générées par le remplissage d'une boîte fermée parallélépipédique entourant une ouverture.

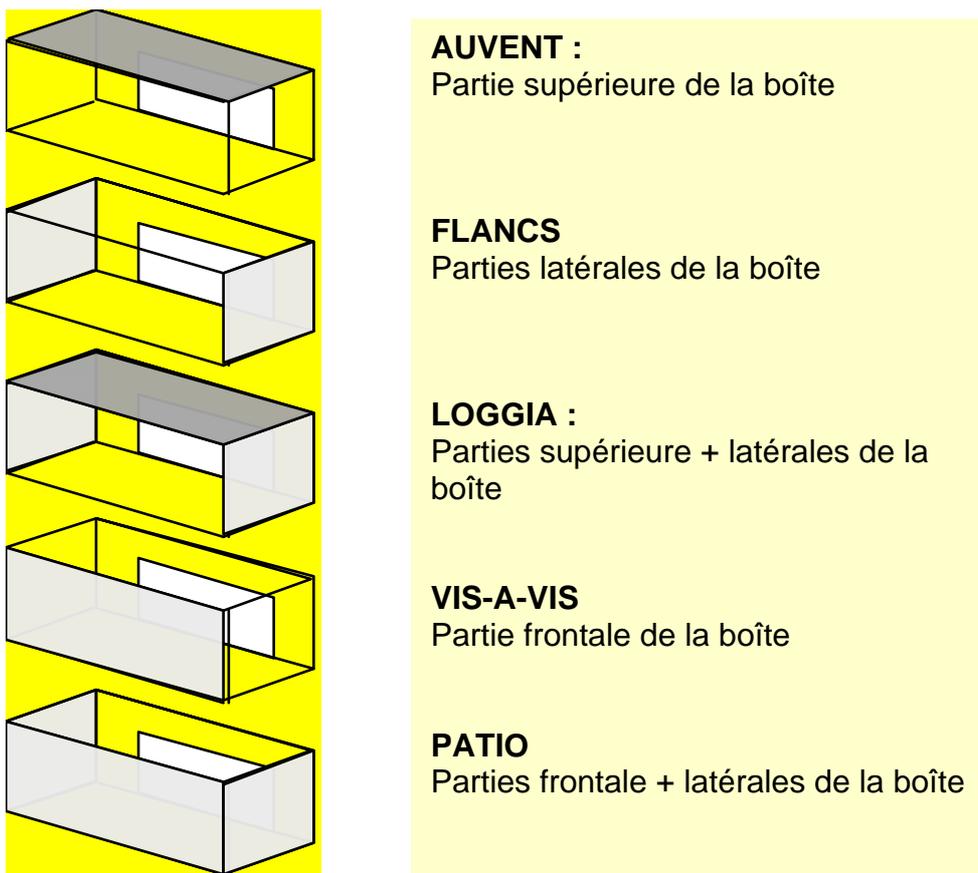


Figure 1 : Génération de masques architecturaux à partir d'une boîte entourant la baie.

Chaque configuration est testée pour la latitude 43°Nord : le facteur de transmission de rayonnement global (Direct+Réfléchi) est calculé pour diverses orientations pour le solstice d'été.

Ce facteur se définit toujours comme le rapport Surface éclairée/Surface totale de la baie (ou de l'élément à protéger)

### Résultats du test.

Les résultats du calcul (effectué par le logiciel « *Ecran Solaire* » du Laboratoire ABC de l'ENSA-Marseille) sont montrés dans les graphiques suivants. Ils montrent que :

- ➔ Les masques architecturaux définis par des plans horizontaux (*auvent, loggia*) sont très efficaces en orientation SUD et le sont bien moins en orientations EST ou OUEST (figure 2).
- ➔ Les masques architecturaux définis par des plans verticaux (*flancs*) sont peu efficaces en toutes orientations dans ce dimensionnement (figure 3).
- ➔ Les masques architecturaux générés par un plan frontal (*vis-à-vis et patio*) sont plus efficaces en orientations EST ou OUEST qu'en orientation SUD (figure 4).

Ces résultats concernent les configurations définies ci-dessus qui ne représentent pas les versions optimisées de ces masques, notamment les flancs et les vis-à-vis qui pourraient être plus hauts et qui seraient alors plus sévères en hiver).

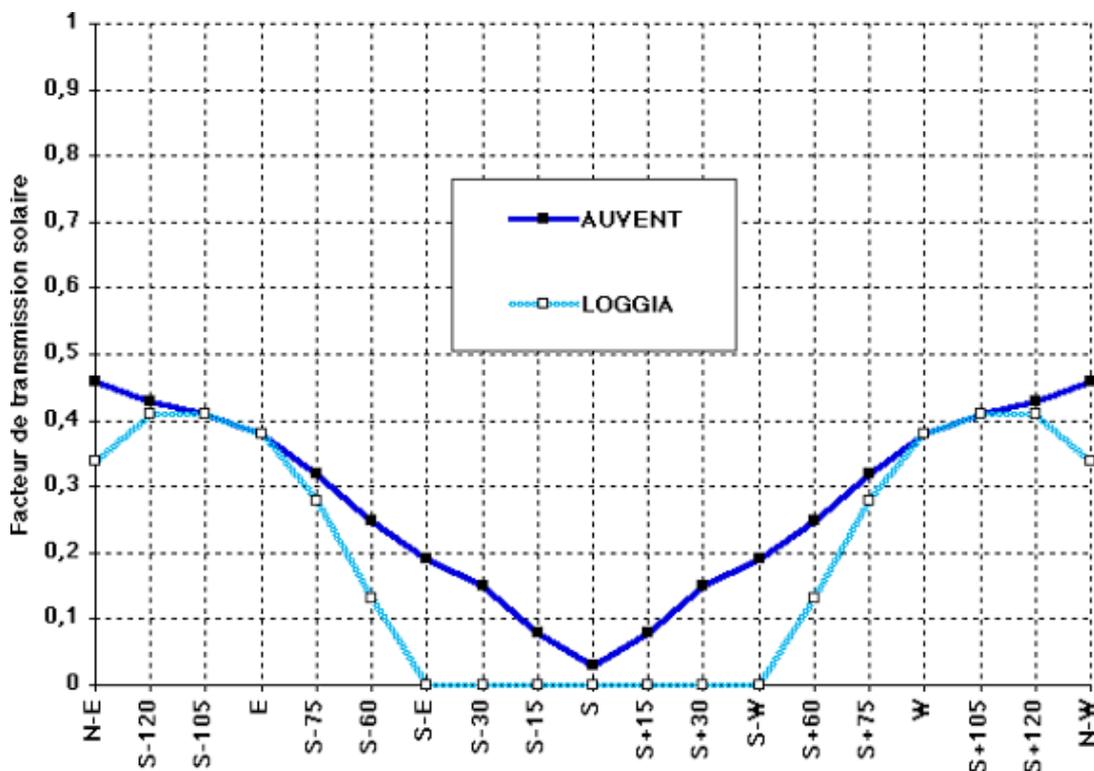


Figure 2 : transmission de l'auvent et de la loggia en fonction de l'orientation au solstice d'été.

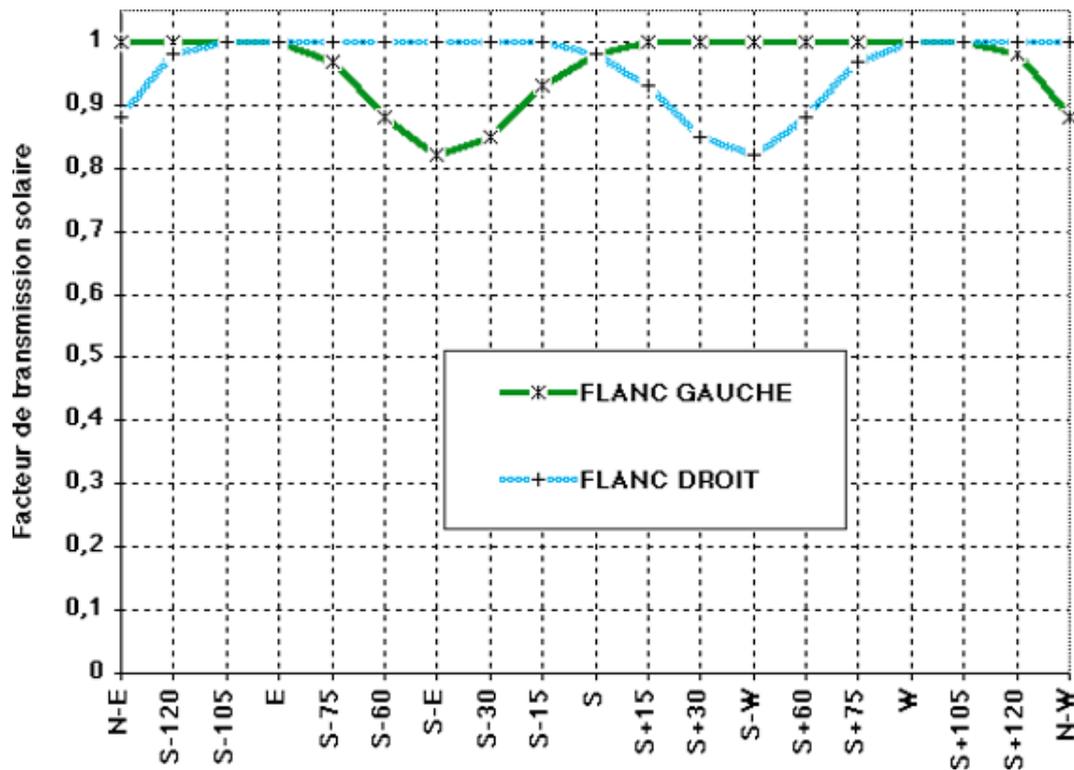


Figure 3 : transmission des flancs en fonction de l'orientation au solstice d'été.

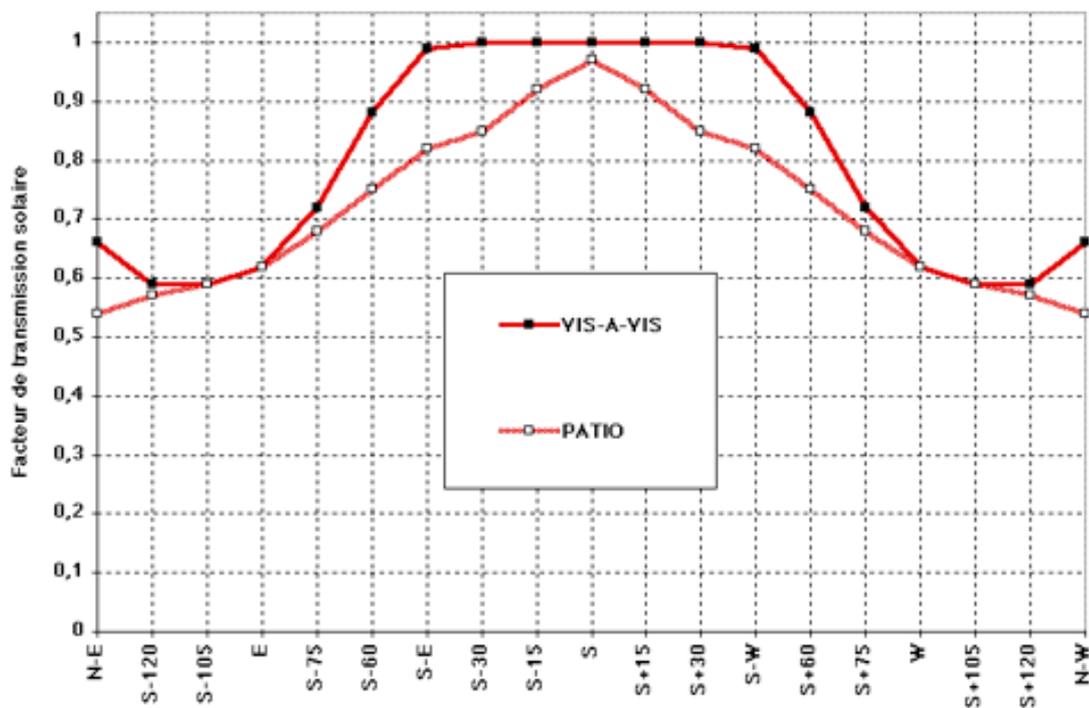


Figure 4 : transmission du patio et du vis-à-vis en fonction de l'orientation au solstice d'été.

## 2 - Les écrans à lames

### 2-1. Comparaison des écrans à lames horizontales et verticales

Une procédure analogue peut être appliquée aux écrans à lames, en s'intéressant en particulier à la comparaison entre les lames à axe horizontal et les lames à axe vertical. Les géométries de ces écrans sont montrées par la figure 5 : ce sont des écrans dont la profondeur des lames est égale à leur équidistance, le plan des lames étant perpendiculaire à la façade.

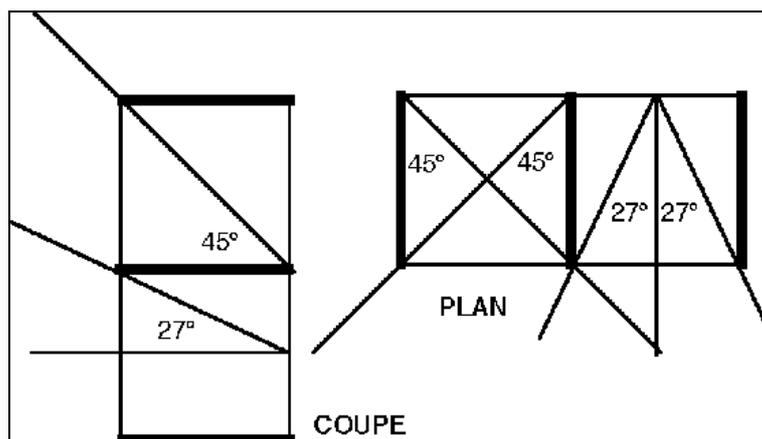


Figure 5 : Coupe de l'écran à lames horizontales (à gauche) et coupe-plan de l'écran à lames verticales (à droite).

Cette fois-ci, pour les besoins de la comparaison, nous regroupons les périodes de l'année afin de diagnostiquer les deux types de solutions sur l'ensemble de l'année, avec pour double objectif de récupérer l'énergie solaire d'hiver (« réduire les consommations d'énergie ») et de s'en protéger au mieux en été (« éviter la clim »).

La figure 6 donne les résultats pour une façade SUD.

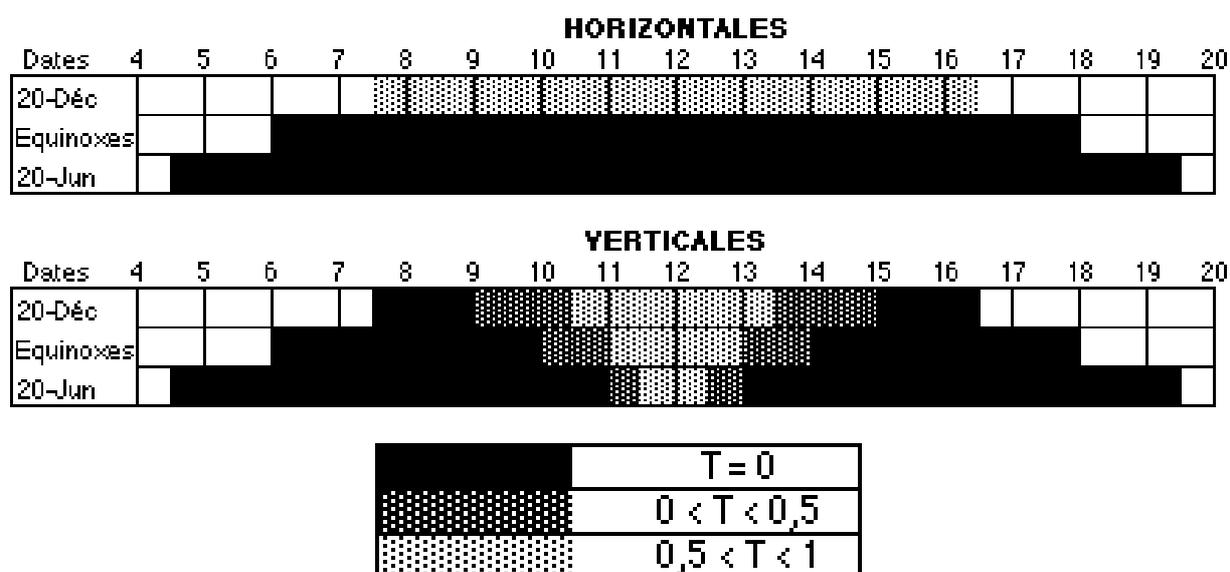


Figure 6 : Transmissions comparées des écrans à lames horizontales et verticales en orientation SUD sous la latitude 43° Nord

Sur cette orientation, on voit nettement que les lames horizontales offrent à la fois une meilleure utilisation des apports solaires en hiver et une meilleure protection solaire en été.

Les figures 7 et 8 donnent les résultats pour les orientations SUD-OUEST et OUEST.

- En orientation SUD-OUEST, le captage d'hiver devient problématique avec l'écran à lames verticales. La protection d'été est nettement moins bonne avec l'écran à lames verticales qui connaît une faiblesse en début d'après-midi.
- En orientation OUEST (où seule la moitié droite du diagramme a un sens), le captage d'hiver devient problématique pour les deux types d'écrans et en été l'écran à lames verticales a une Transmission supérieure à 50% à partir de 15h alors que l'énergie solaire incidente est très importante à ce moment-là.

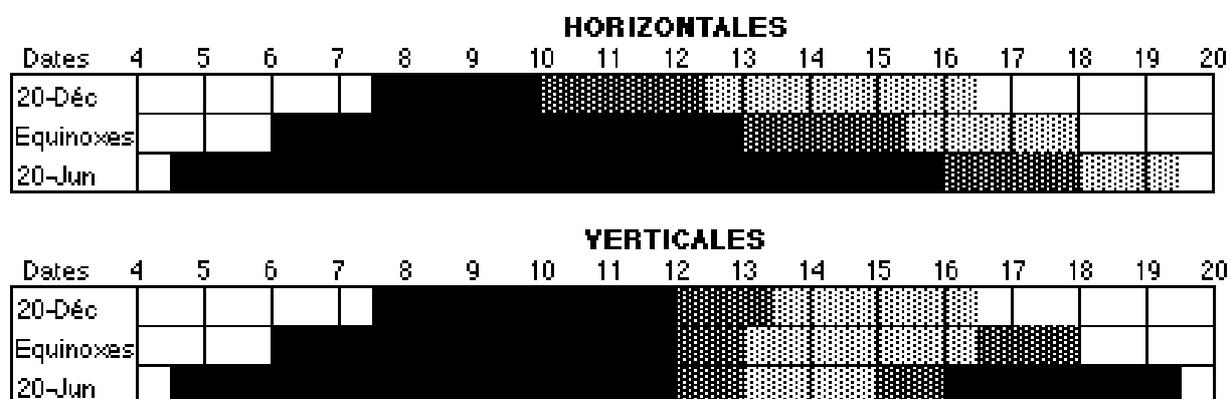


Figure 7 : Transmissions comparées des écrans à lames horizontales et verticales en orientation SUD-OUEST sous la latitude 43° Nord



Figure 8 : Transmissions comparées des écrans à lames horizontales et verticales en orientation OUEST sous la latitude 43° Nord

**Conclusion du premier test :**

Dans les conditions du test, qui n'envisage pas toutes les combinaisons entre les dimensions des lames, leur inclinaison et leur écartement, qui se limite donc au cas où le plan de lames est perpendiculaire au plan de réception, l'avantage, en hiver comme en été et dans toutes les orientations, appartient à l'écran à lames horizontales.

## 2-2. Influence de l'inclinaison du profil des lames horizontales

L'horizontalité des lames est celle de l'axe sur lequel elles s'appuient. Mais elles peuvent être elles-mêmes horizontales ou inclinées et leur écartement peut être plus ou moins grand. Ces deux paramètres - inclinaison du profil de la lame et écartement entre les lames - peuvent aboutir à un infinité de solutions qui partageront toutes l'appellation « lames horizontales ».

### Protocole de test.

Parmi cette infinité, nous traitons deux configurations de lames horizontales à profil incliné que nous comparons au cas traité précédemment. Ces deux configurations ont en commun l'inclinaison de leur profil à  $45^\circ$  et ce qui les distingue est leur angle d'occultation :  $30^\circ$  pour l'une,  $45^\circ$  pour la seconde. Pour les désigner, en mettant en premier l'inclinaison du profil et en second l'angle d'occultation, cela donne les identités « **45-30** » et « **45-45** », le cas de base étant « **0-45** », auquel on joint une variante « **45-60** » (voir le schéma des profils en figure 9). Le cas « **45-0** » n'est pas traité, son efficacité à occulter complètement les rayons solaires ne faisant aucun doute.

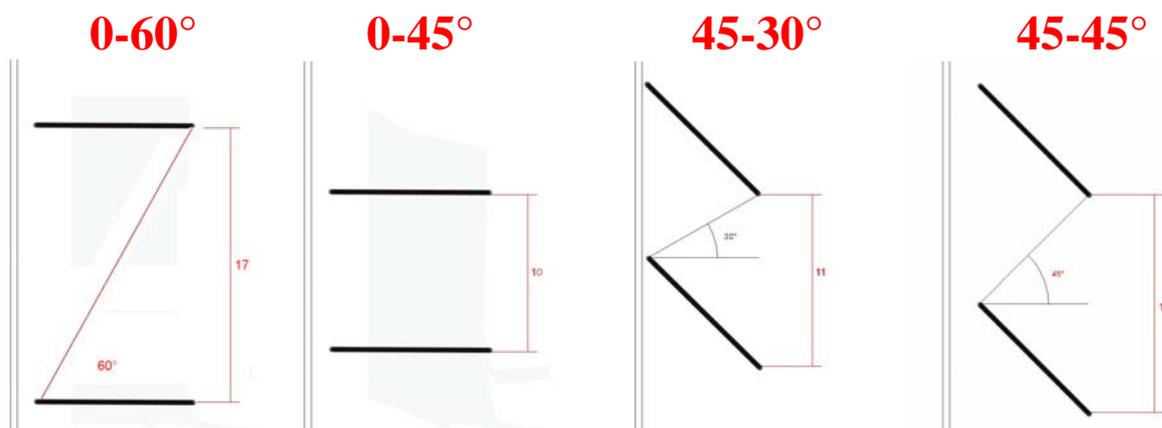


Fig. 9 : Profils comparés des écrans à lames horizontales (en coupe)

Ces cas ont été traités par Sandra BUSSON, étudiante en cycle maîtrise d'architecture, à l'occasion de son mémoire de séminaire de 5<sup>e</sup> année (Juin 2006).

## Résultats des calculs :

Le principal paramètre variant est l'orientation qui va donc du SUD au NORD en passant par SUD-EST, EST et NORD-EST. Les orientations SUD-OUEST, OUEST et NORD-OUEST sont équivalentes aux précédentes.

Le premier type de graphique donne le bilan horaire du facteur de transmission solaire des quatre écrans pour chaque orientation et pour deux périodes de l'année : décembre et juin.

### Performances d'hiver : mois de décembre

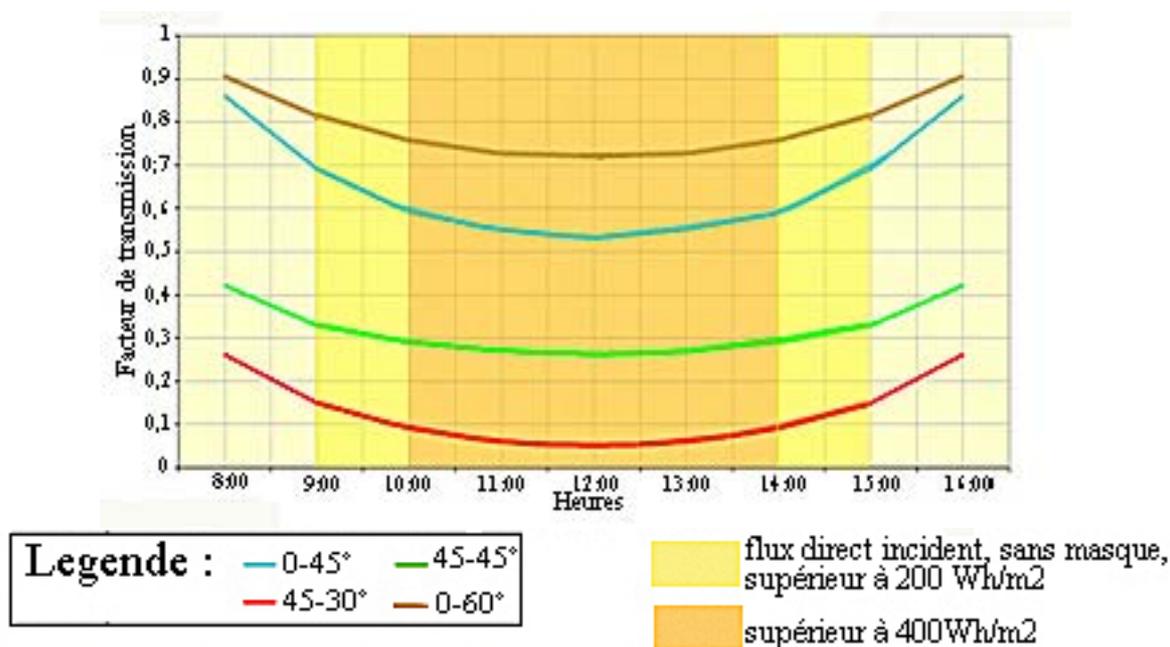


Figure 10 : Transmissions horaires comparées des quatre cas d'écrans à lames horizontales en orientation SUD sous la latitude 43° Nord au solstice d'hiver

En orientation SUD les quatre cas d'écrans laissent passer plus ou moins le rayonnement solaire. Le « plus » est pour l'écran « 0-60 » et le « moins » pour l'écran « 45-30 » qui s'avère vraiment bien trop sévère pour cette période de l'année.

Il faut prendre garde au fait qu'une transmission partielle pour un écran correspond à la projection de raies de lumière solaire qui peuvent provoquer un inconfort visuel à causes des contrastes.

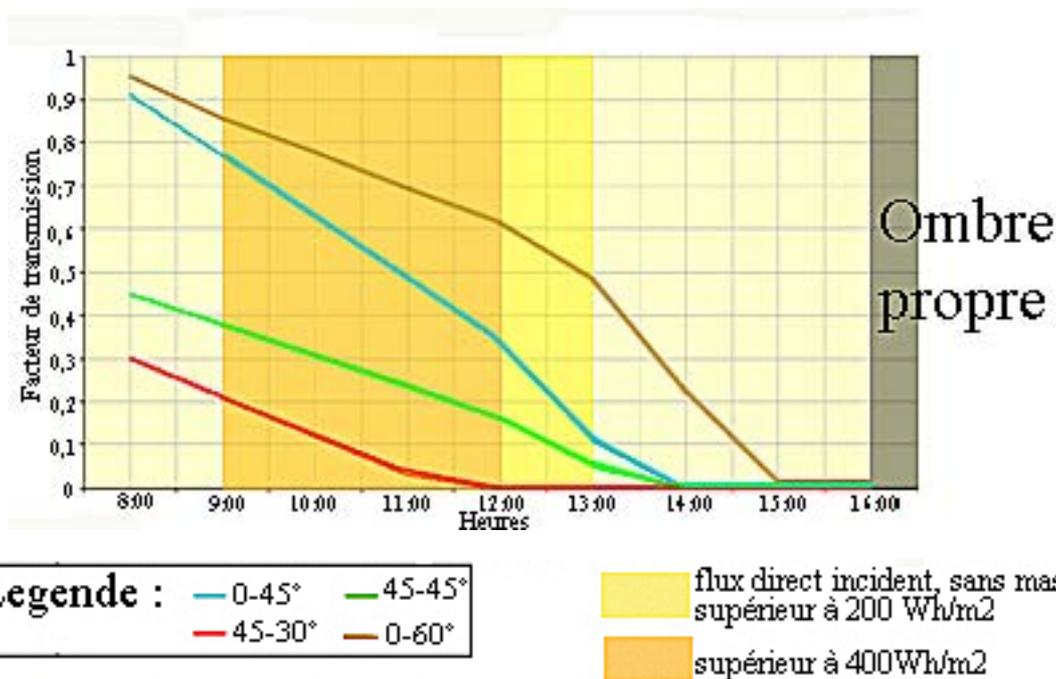


Figure 11 : Transmissions horaires comparées des quatre cas d'écrans à lames horizontales en orientation SUD-EST sous la latitude 43°Nord au solstice d'hiver

En exposition SUD-EST, la protection solaire est croissante du lever du soleil jusqu'au début d'après-midi : la configuration « 45-30 » occulte totalement dès 12h et continue donc à être trop sévère. Pour une exposition SUD-OUEST, on aurait le bilan symétrique.

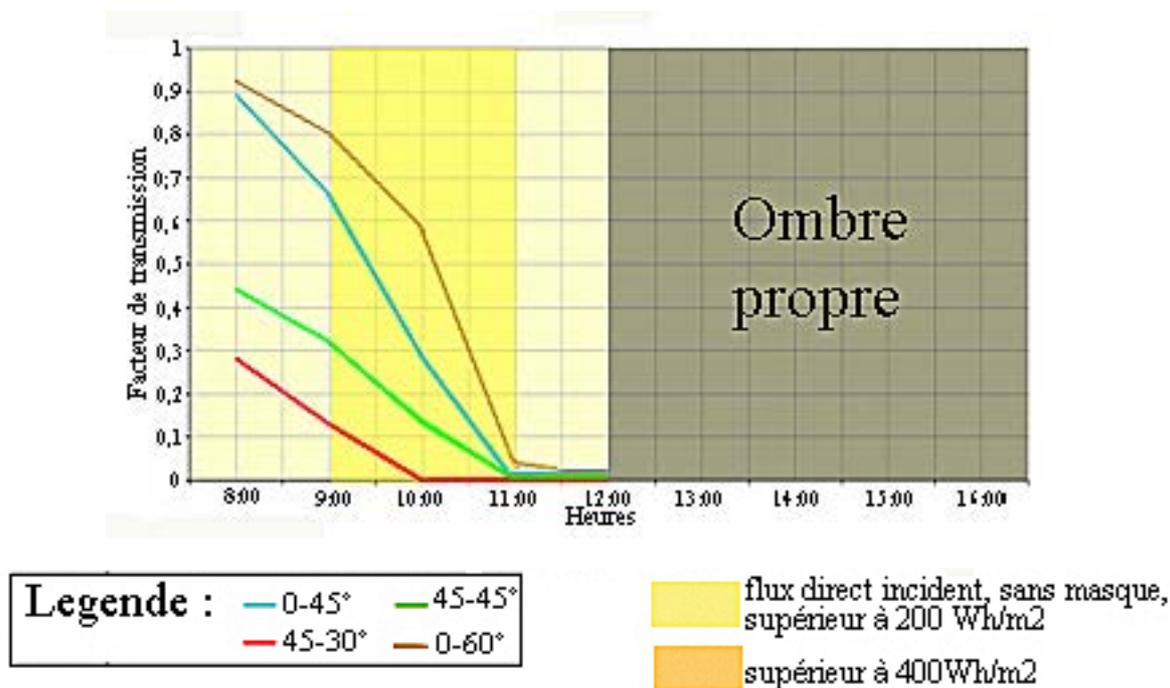


Figure 12 : Transmissions horaires comparées des quatre cas d'écrans à lames horizontales en orientation EST sous la latitude 43°Nord au solstice d'hiver

En orientation EST, la hiérarchie est la même : la configuration « 45-30 » occulte totalement dès 10 heures du matin. Pour une exposition OUEST, on aurait le bilan symétrique (occultation jusqu'à 14h).

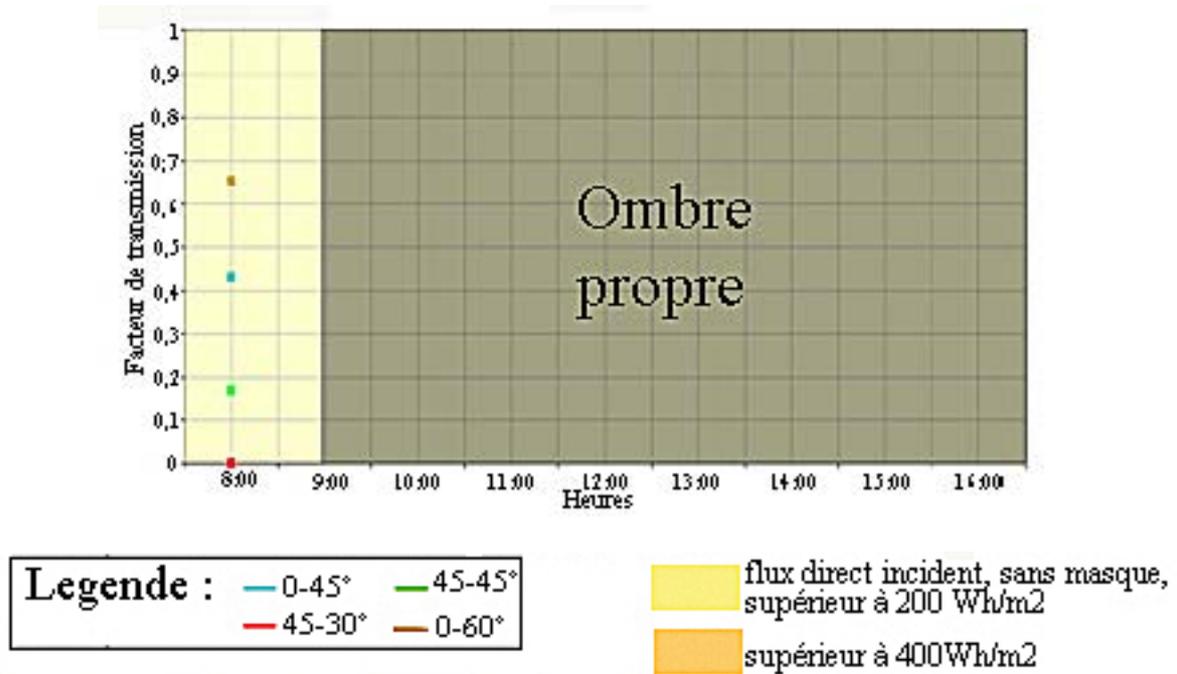


Figure 13 : Transmissions horaires comparées des quatre cas d'écrans à lames horizontales en orientation NORD-EST sous la latitude 43° Nord au solstice d'hiver

Performances d'été : mois de juin

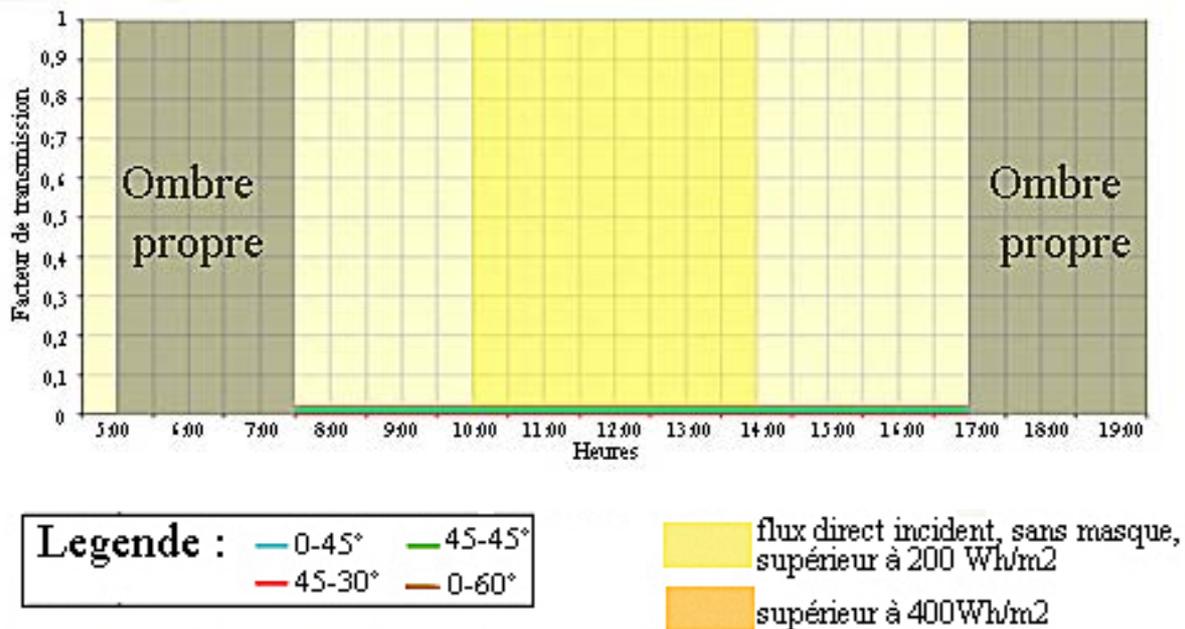


Figure 14 : Transmissions horaires comparées des quatre cas d'écrans à lames horizontales en orientation SUD sous la latitude 43°Nord au solstice d'été

En orientation SUD les quatre cas de lames horizontales protègent parfaitement la façade, toutes les courbes de transmission sont bloquées sur la valeur 0..

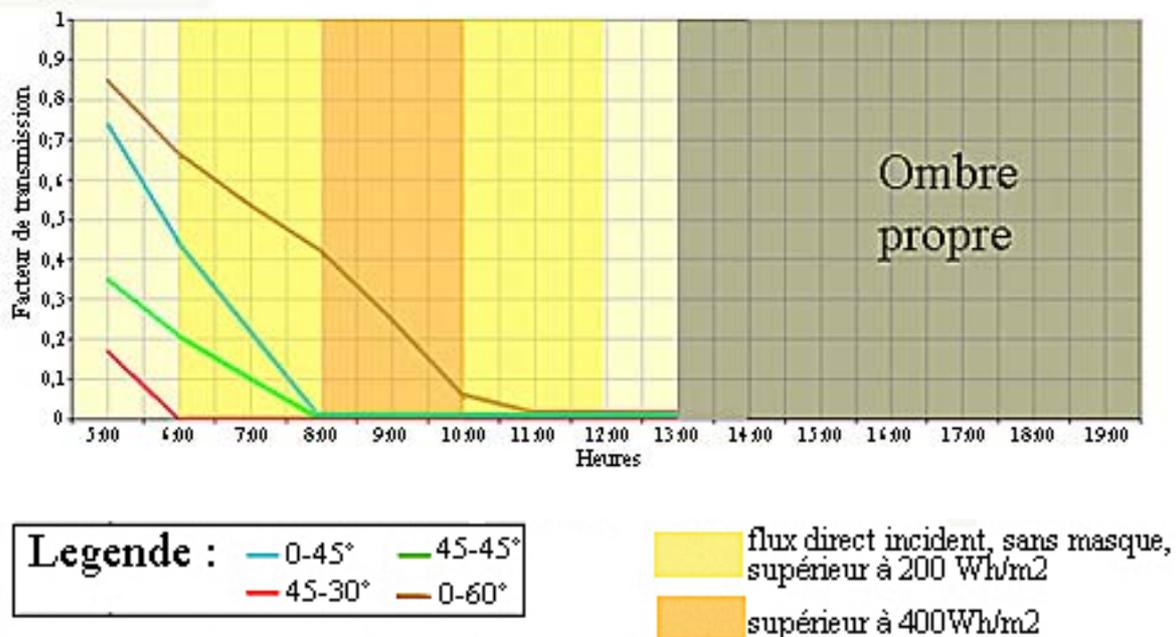


Figure 15: Transmissions horaires comparées des quatre cas d'écrans à lames horizontales en orientation SUD-EST sous la latitude 43°Nord au solstice d'été

En orientation SUD-EST les quatre cas de lames horizontales sont déjà moins performantes : si la « 45-30 » occulte intégralement dès 6 heures, la « 0-60 »

ne le fait qu'à 11 heures et sa transmission atteint en moyenne 30% quand l'énergie solaire incidente dépasse 400 W/m<sup>2</sup>.

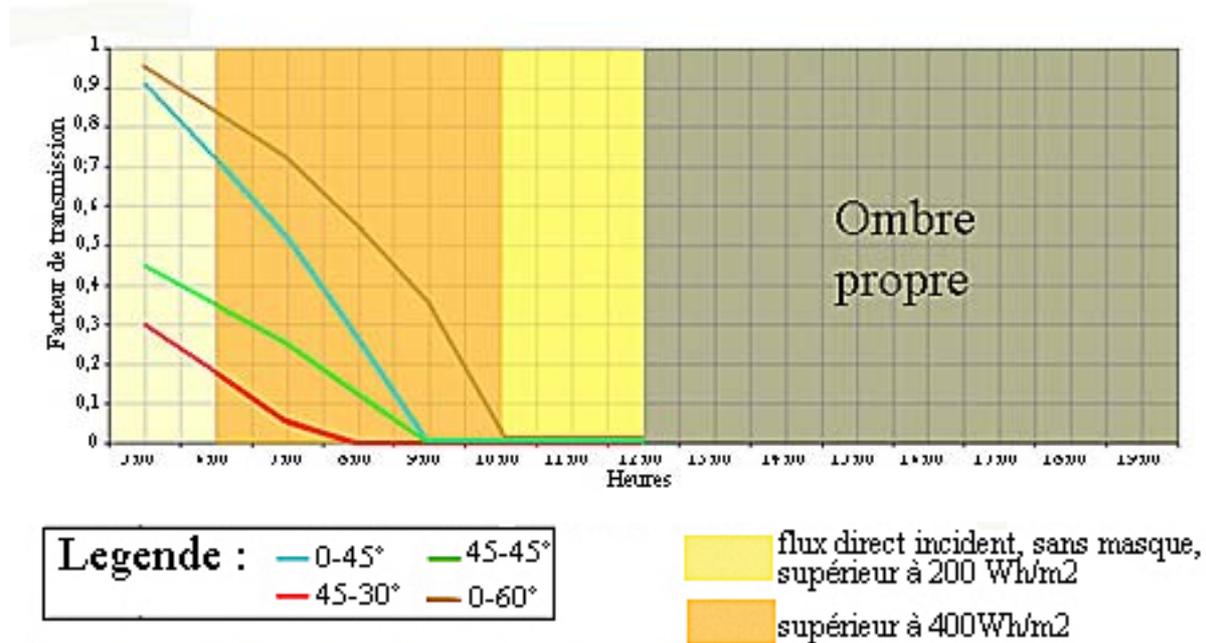


Figure 16: Transmissions horaires comparées des quatre cas d'écrans à lames horizontales en orientation EST sous la latitude 43° Nord au solstice d'été

En orientation EST les quatre cas de lames horizontales sont franchement moins performantes : la « 45-30 » occulte intégralement à 8 heures, mais la « 0-60 » voit sa transmission atteindre en moyenne 50% quand l'énergie solaire incidente dépasse 400 W/m<sup>2</sup>.

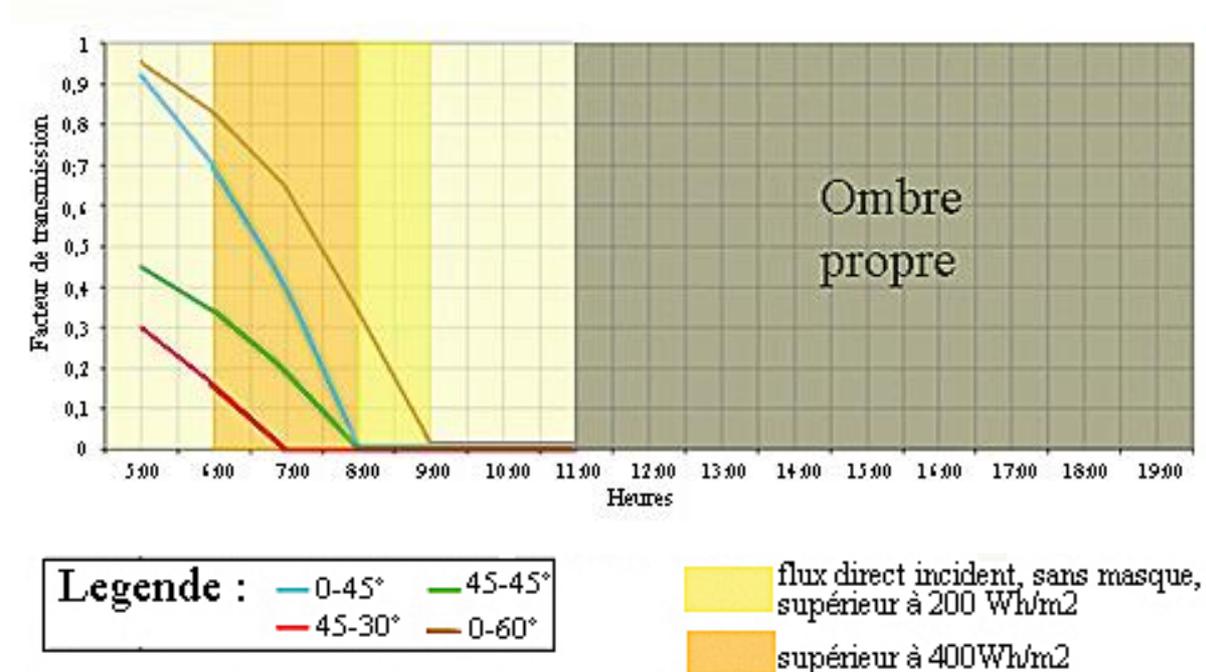


Figure 17: Transmissions horaires comparées des quatre cas d'écrans à lames horizontales en orientation NORD-EST sous la latitude 43° Nord au solstice d'été

En orientation NORD-EST les quatre cas de lames horizontales sont encore moins performantes : la « 45-30 » occulte intégralement à 7 heures et la « 0-60 » voit sa transmission atteindre en moyenne 60% quand l'énergie solaire incidente dépasse 400 W/m<sup>2</sup>.

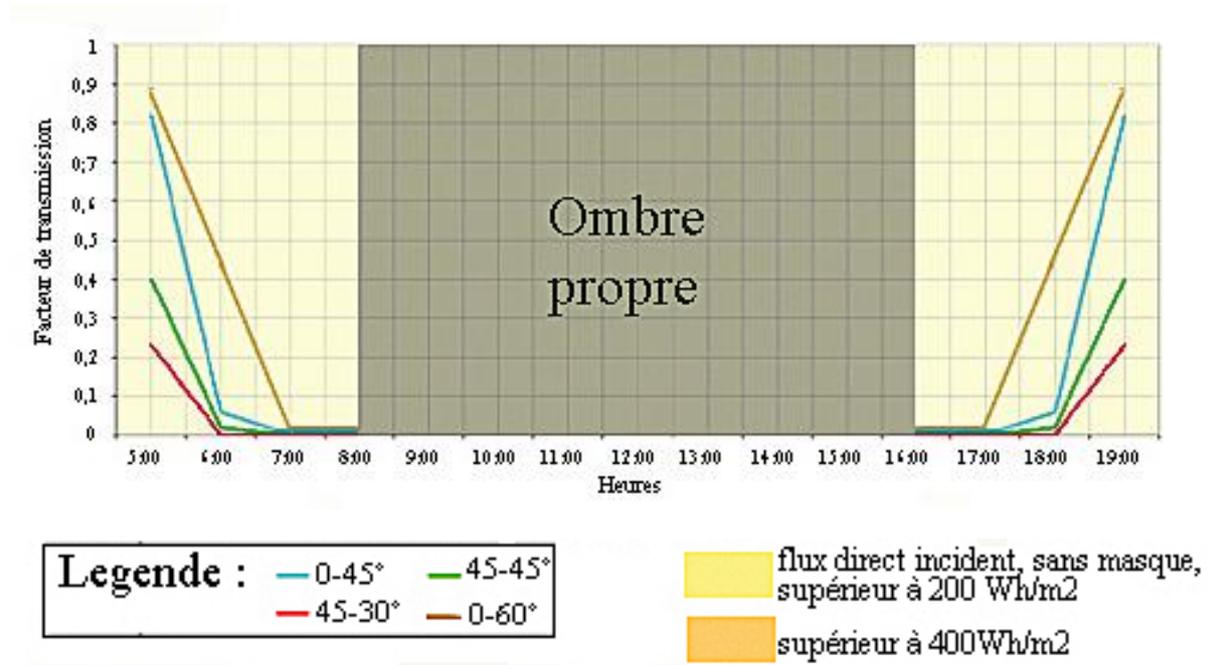


Figure 18: Transmissions horaires comparées des quatre cas d'écrans à lames horizontales en orientation NORD sous la latitude 43° Nord au solstice d'été

La quantité moindre d'énergie solaire incidente rend les protections solaires moins nécessaires. Dans cette orientation, les lames verticales sont plus performantes.

## Performances journalières comparées

Les diagrammes suivants permettent de comparer les performances journalières (facteur de transmission moyenné sur la journée) des différentes configurations en fonction de l'orientation pour les deux périodes de l'année été-hiver..

Décembre

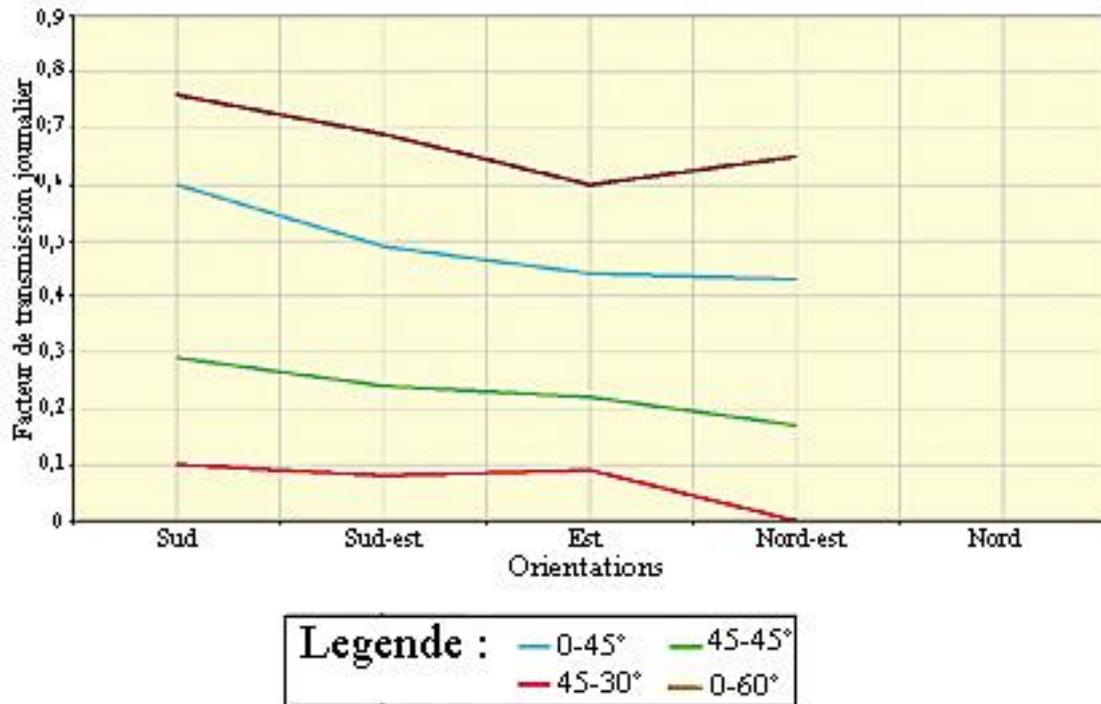
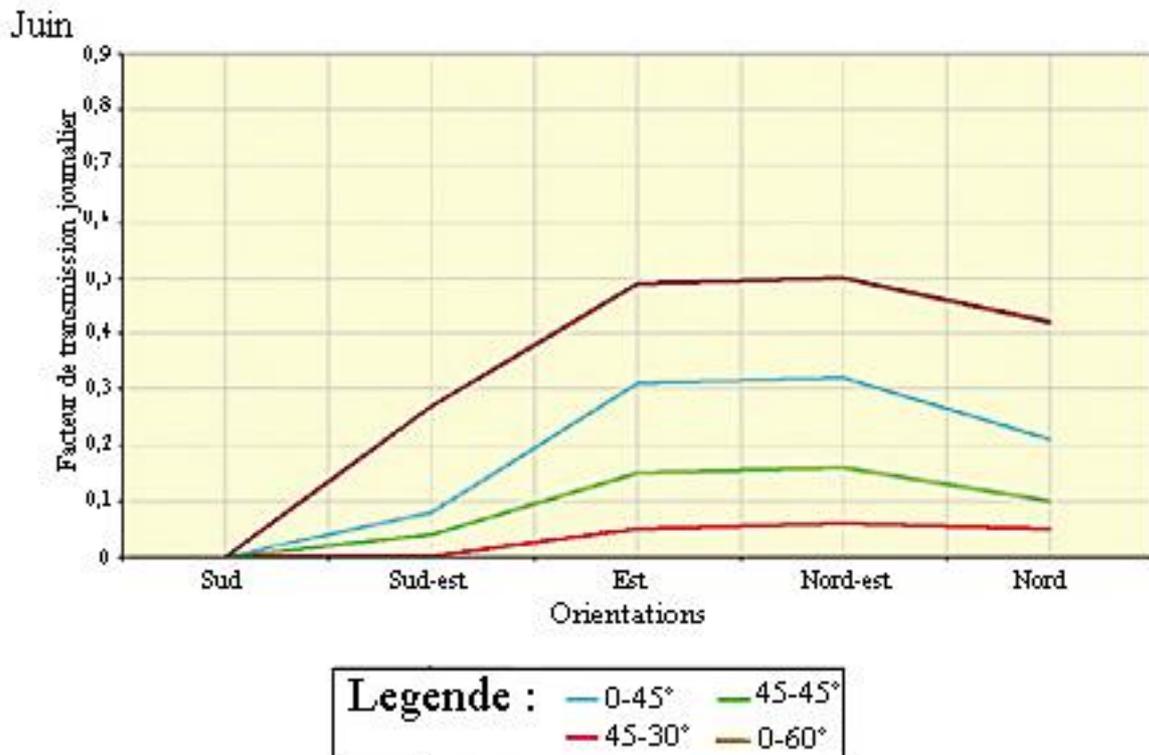


Figure 19: Transmissions journalières comparées des quatre cas d'écrans à lames horizontales en fonction de l'orientation sous la latitude 43°Nord au solstice d'hiver

La figure 19 montre qu'en hiver l'orientation a une influence relativement modérée sur le facteur de transmission journalier d'un écran à lames horizontales : celui-ci a tendance à diminuer lorsque l'on s'écarte de l'orientation SUD, sauf pour la configuration « 45-30 » qui conserve un facteur de transmission très faible en toutes orientations.



**Figure 20: Transmissions journalières comparées des quatre cas d'écrans à lames horizontales en fonction de l'orientation sous la latitude 43°Nord au solstice d'été**

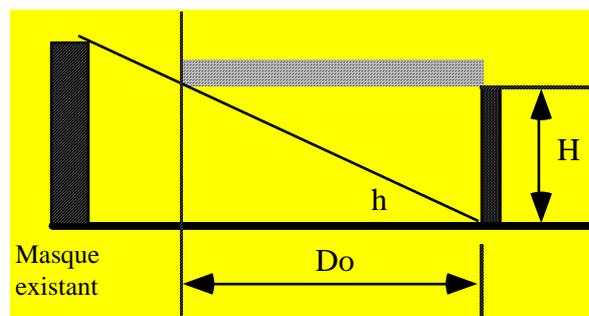
La figure 20 montre qu'en été l'orientation a une forte influence sur le facteur de transmission journalier d'un écran à lames horizontales : celui-ci a une tendance marquée à augmenter lorsque l'on s'écarte de l'orientation SUD, sauf pour la configuration « 45-30 » qui conserve un facteur de transmission très faible en toutes orientations. Il faut noter aussi l'extrême sensibilité de l'écran « 0-60 » à l'orientation : sa performance n'est bonne que strictement en orientation SUD.

### 3 - Conclusion générale

Pour tous les systèmes que l'on peut adopter, il y a toujours lieu de distinguer les orientations et les périodes de l'année. Une solution adaptée ici peut être inadaptée là.

Pour les effets architecturaux, il apparaît clairement qu'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°).

Les autres formes architecturales sont impuissantes seules à protéger une façade du soleil d'été (flancs, vis-à-vis ou patio). Cependant, pour les conditions redoutables de l'exposition OUEST, la combinaison Auvent + Vis-à-vis est la seule à garantir une protection intégrale, leurs angles d'occultation pouvant être complémentaires.



**Figure 21: Dimensionnement de la combinaison *Auvent + Vis-à-vis* pour offrir une protection solaire totale :  $Do = H/tgh$**

Les écrans à lames horizontales sont globalement plus performants que les écrans à lames verticales. L'efficacité des écrans à lames horizontales est la plus grande en été en orientation SUD ; dans cette orientation la version « 0-60 » (lames définies par un plan horizontal avec un angle d'occultation de 60°) est suffisante. 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 ». Pour l'appréciation globale des performances des configurations selon l'orientation, consulter les tableaux donnés par les figures 22 et 23 ci-après.

CONFIG		Sud	Sud-Est	Est	Nord-Est	Nord
Juin	0-60°	Vert	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge
	0-45°	Vert	Jaune	Rouge	Rouge	Rouge
	45-45°	Vert	Vert	Jaune	Jaune	Vert
	45-30°	Vert	Vert	Vert	Vert	Vert

**Protection Solaire**



**Bonne      Moyenne      Faible**

Fig. 22. Classement des configurations par leurs performances d'été

CONFIG		Sud	Sud-Est	Est	Nord-Est	Nord
Décembre	0-60°	Vert	Vert	Vert	Vert	Rouge
	0-45°	Vert	Vert	Vert	Vert	Rouge
	45-45°	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Rouge
	45-30°	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge

**Transmission Solaire**



**Bonne      Moyenne      Faible**

Fig. 23. Classement des configurations par leurs performances d'hiver

## 4 - Bibliographie

Aladar OLGAY et Victor OLGAY, « *Solar Control and shading devices* » ; Princeton University Press, Princeton, New Jersey 1976.

**Excellent ouvrage traitant de l'efficacité des masques architecturaux. Dommage que les « diagrammes de transmission » ne soient pas mis en situation sur le diagramme solaire.**

Ernst DANZ, « *Sun Protection, an international architectural survey* » ; Frederick A. Praeger publishers New York, 1967.

**Le même esprit que l'ouvrage précédent.**

Edward MAZRIA, « *Le guide de l'énergie solaire passive* », traduction Pierre BAZAN, Editions Parenthèses, 1981.

**Un best-seller des publications sur l'architecture bioclimatique avec une partie consacrée au contrôle de l'ensoleillement.**

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

**Un recueil d'outils graphiques pour l'hémisphère SUD.**

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.

**Tous les diagrammes solaires en projection cylindrique.**

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

**Tout ce qu'il faut savoir pour utiliser les diagrammes solaires en projection sphérique équidistante et leurs outils dérivés.**