

Dispositifs d'éclairage naturel

"L'expérience plastique que devait représenter l'accès au Panthéon mérite qu'on s'y arrête.(...) L'entrée plongeait le visiteur - comme elle le fait encore de nos jours - dans une sorte de stupeur extatique : l'explosion spatiale, dans le clair obscur mystique, la stabilité paisible de l'immense coupole suspendue sans effort et tournant lentement autour de l'observateur et enfin l'extraordinaire lumière zénithale baignant l'édifice, comme aspiré vers l'ouverture béante de l'oculus central, ... »

**Henri Stierlin "Hadrien et l'architecture romaine",
Office du Livre.**



Cette documentation, produite par la société **Estia SA**, est extraite des cours théoriques dispensés à l'EPFL par **Bernard PAULE**, dans le cadre de l'Unité d'Enseignement « Espace & Lumière : Le projet d'éclairage ». Toute reproduction, même partielle, de ces documents doit faire l'objet d'une autorisation préalable auprès de Estia SA (<http://www.estia.ch>)

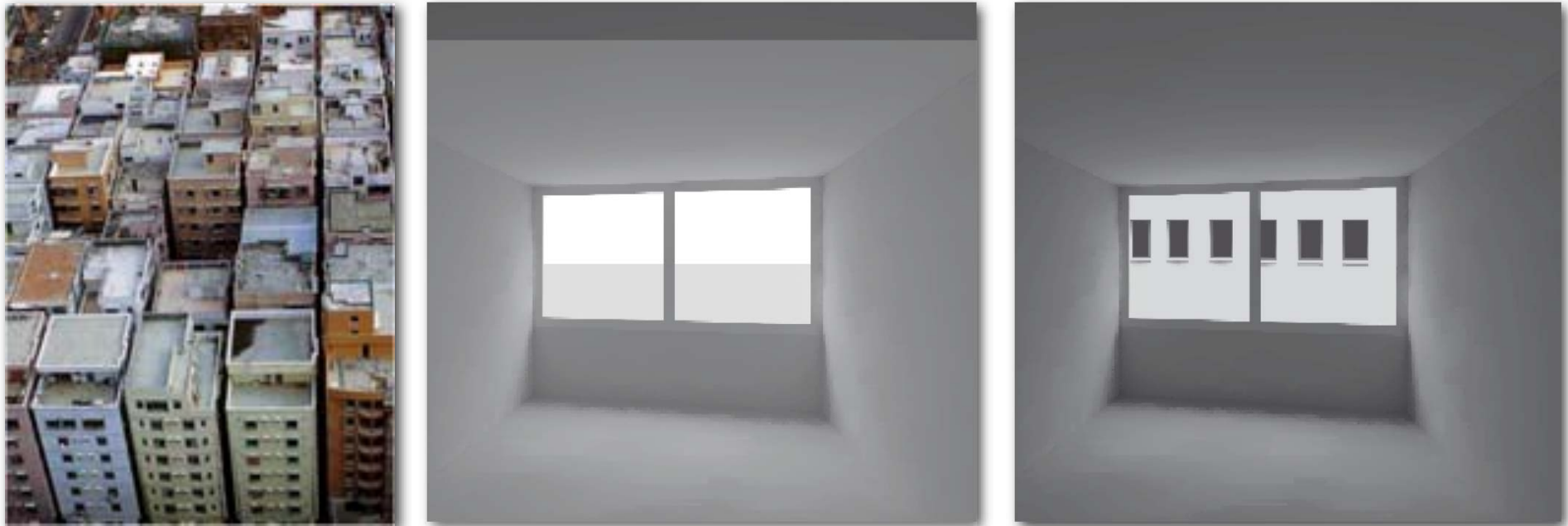
Dispositifs d'éclairage naturel

- Environnement extérieur
- Ouvertures en façade
- Ouvertures en toiture
- Protections solaires

Environnement extérieur

- Masques

La présence de masques extérieurs se traduit le plus souvent par une réduction importante de la quantité de lumière disponible.

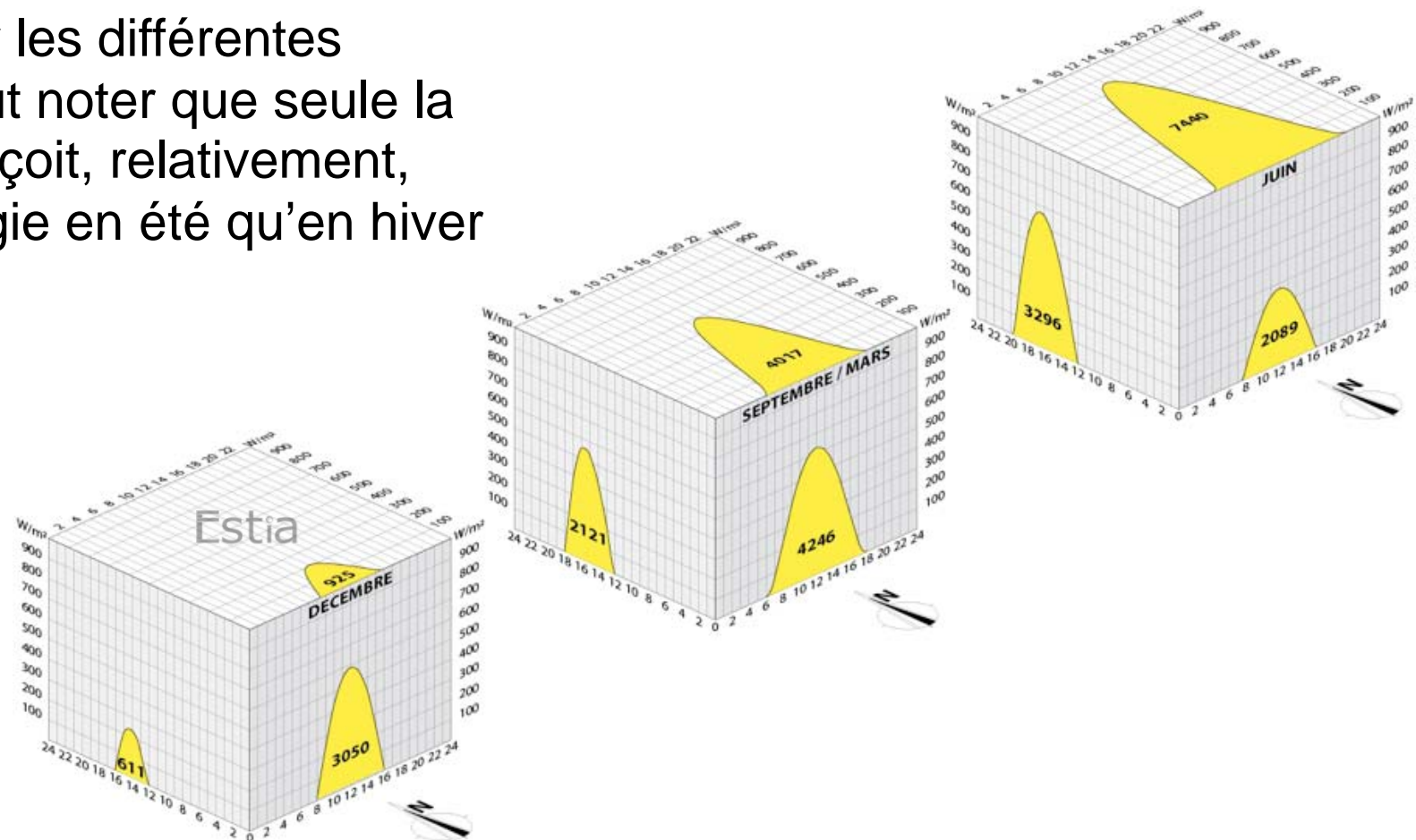


A titre indicatif, un masque dont la hauteur angulaire au dessus de l'horizon est de 30° , réduit de 30% la valeur moyenne de l'éclairement dans un local de bureau « typique » ($h = 2.50\text{m}$, $L = 5.50\text{m}$, $l = 3.50\text{m}$). Cette réduction atteint même 50% si l'on considère la partie arrière du local (à 5 m des ouvertures).

Environnement extérieur

- Orientation

Les variations saisonnières sont très marquées sur les différentes façades. Il faut noter que seule la façade sud reçoit, relativement, moins d'énergie en été qu'en hiver

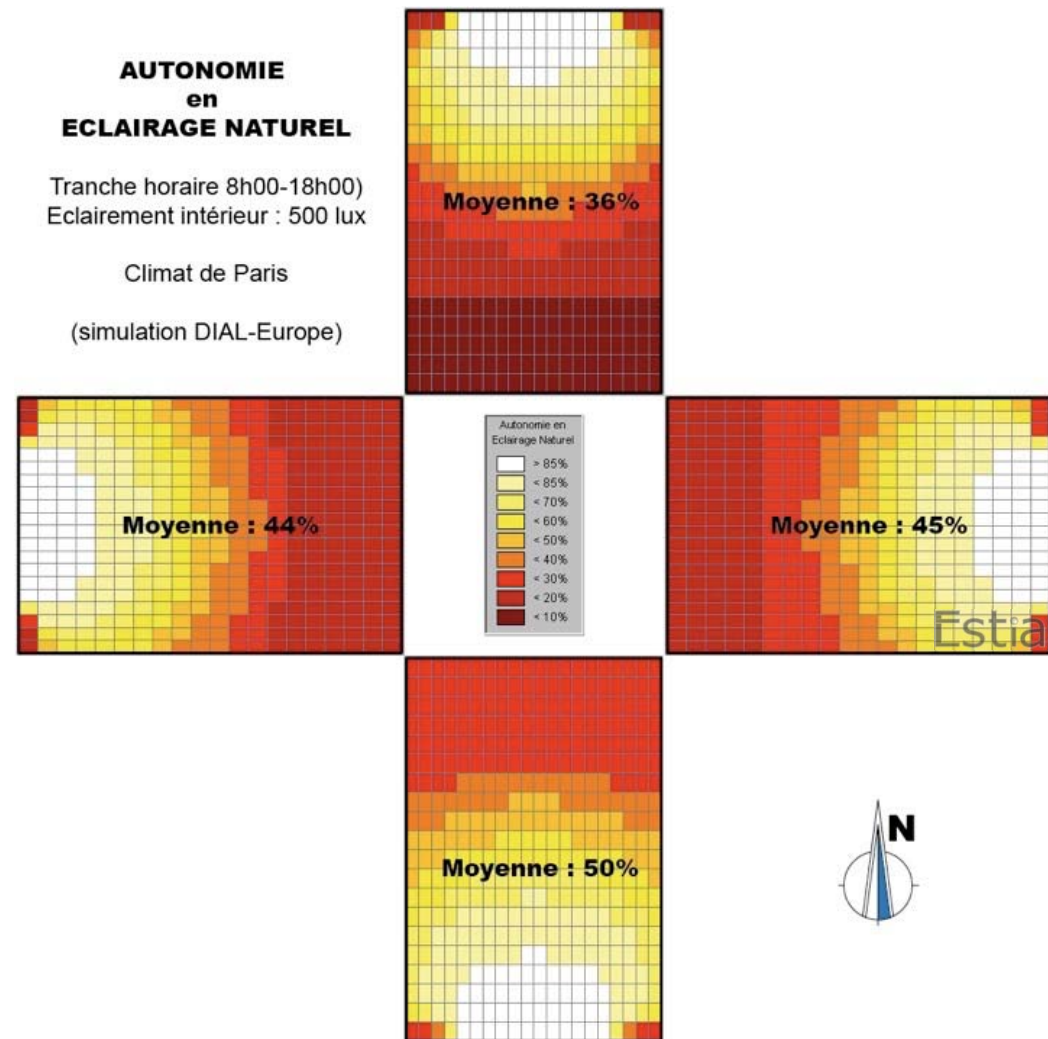


Environnement extérieur

- Orientation

La couverture des besoins par la lumière du jour varie très sensiblement en fonction de l'orientation.

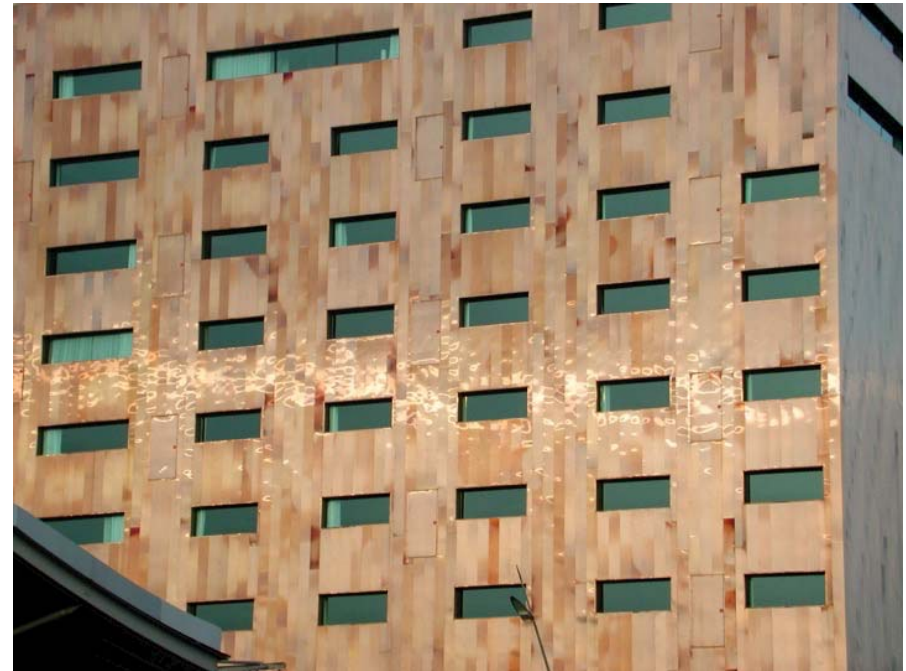
La conception des façades devrait tenir compte de cette contrainte



Ouvertures en Façade

- Indice de vitrage

L'indice de vitrage représente le pourcentage de surface vitrée rapportée à la surface du local. Il doit être adapté à l'affectation des locaux.

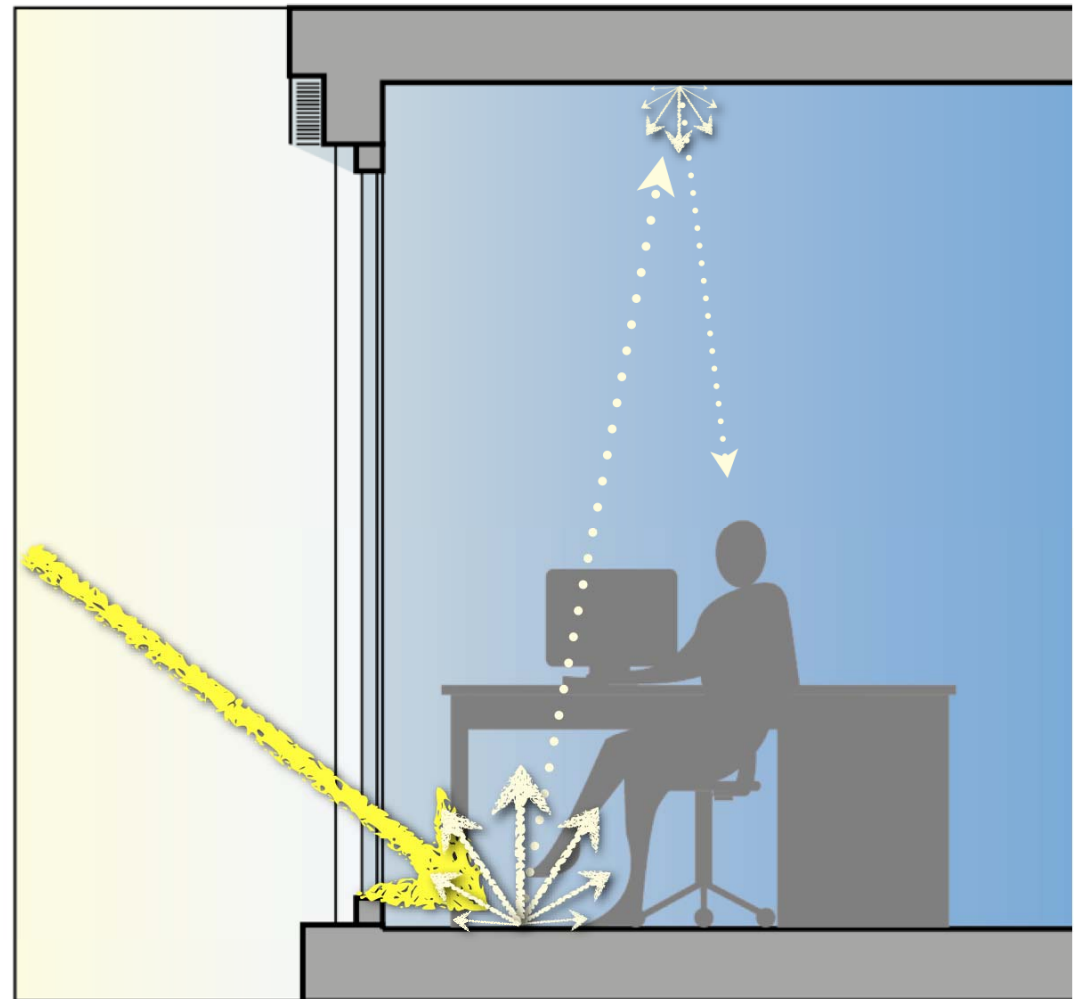


Ouvertures en Façade

- Allège -

Contrecoeur

La partie basse des ouvertures ne contribue pas à l'éclairage des plans de travail tout en augmentant les échanges thermiques.



Ouvertures en Façade

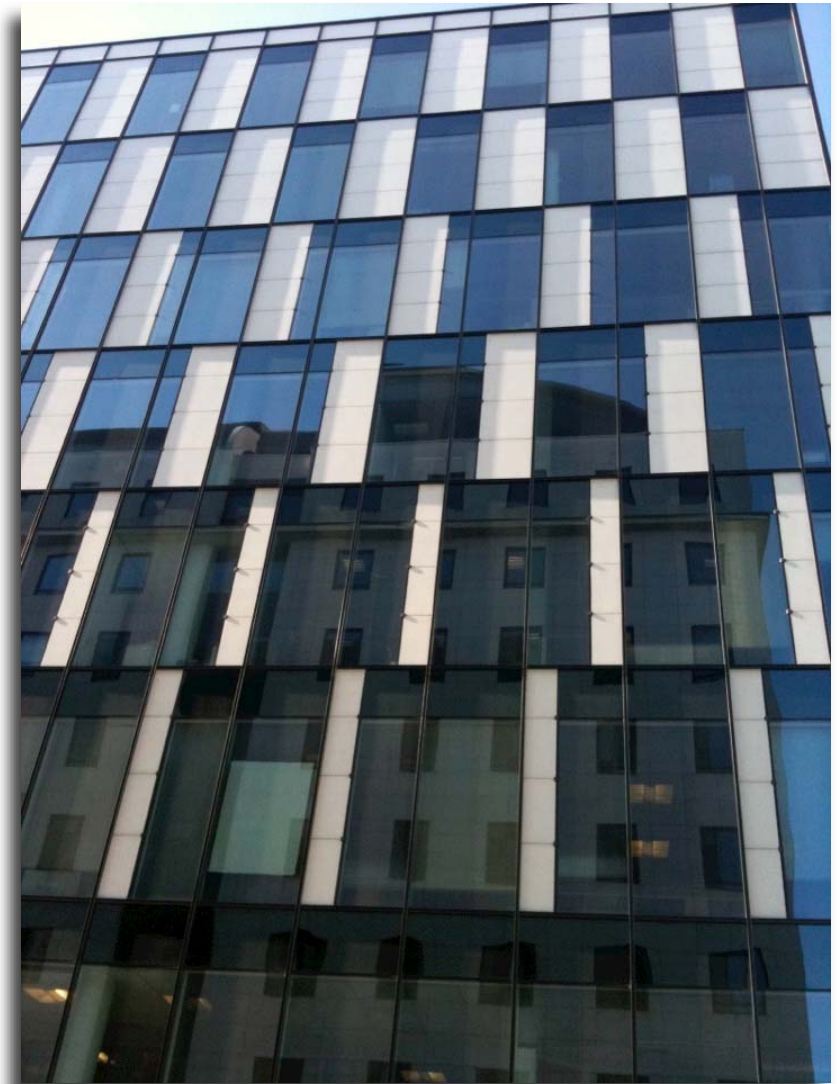
- Emplacement des ouvertures



Ouvertures en Façade

- Parties opaques

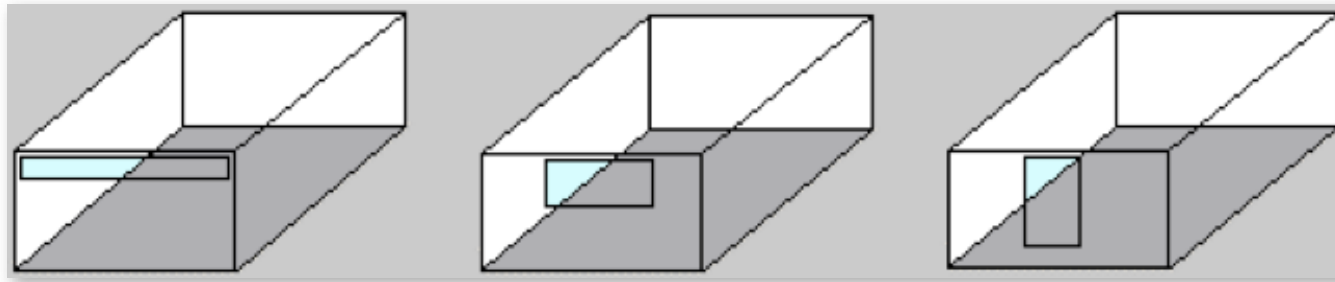
La partie opaque des façades peut être optimisée pour favoriser la captation de lumière des étages inférieurs



Ouvertures en Façade

- Indice d'ouverture

L'indice d'ouverture représente le pourcentage de surface vitrée rapportée à la surface du local



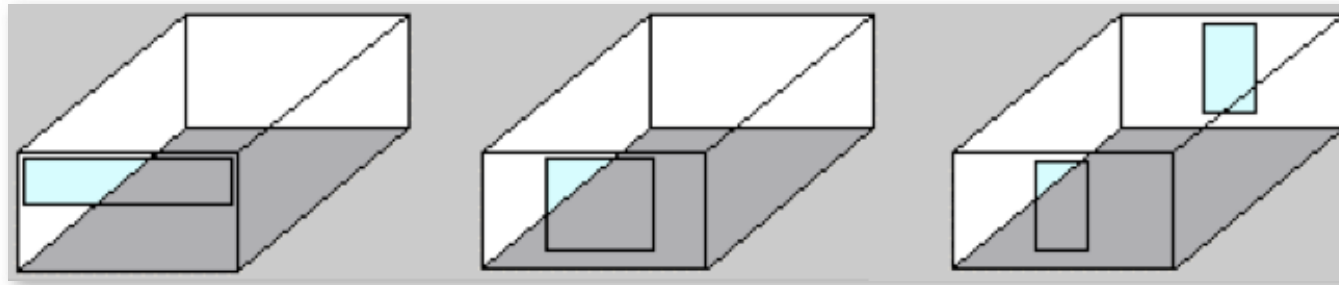
$$I_o = 10\%$$

Un indice de 10% n'est pas suffisant pour procurer un éclairage satisfaisant à l'ensemble du local

Ouvertures en Façade

- Indice d'ouverture

L'indice d'ouverture représente le pourcentage de surface vitrée rapportée à la surface du local



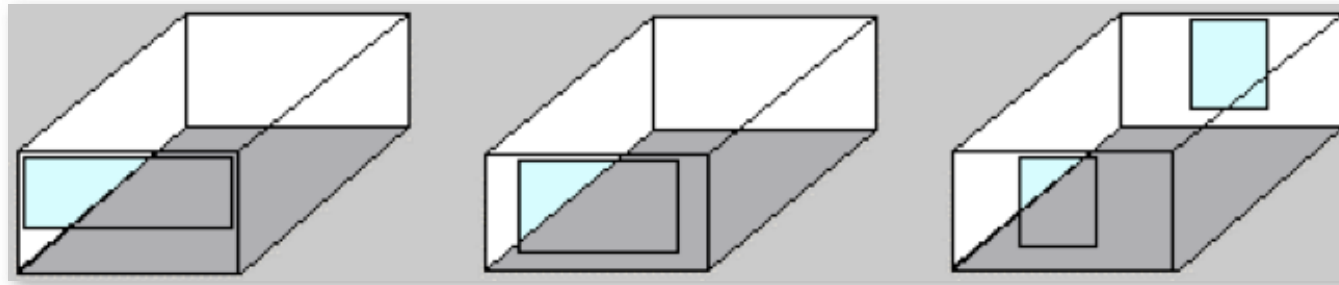
$$I_o = 20\%$$

Un indice de 20% est généralement suffisant pour offrir une couverture satisfaisante des besoins en lumière naturelle (quantitatif + vues), à condition que l'environnement extérieur et l'orientation ne soient pas trop défavorables

Ouvertures en Façade

- Indice d'ouverture

L'indice d'ouverture représente le pourcentage de surface vitrée rapportée à la surface du local



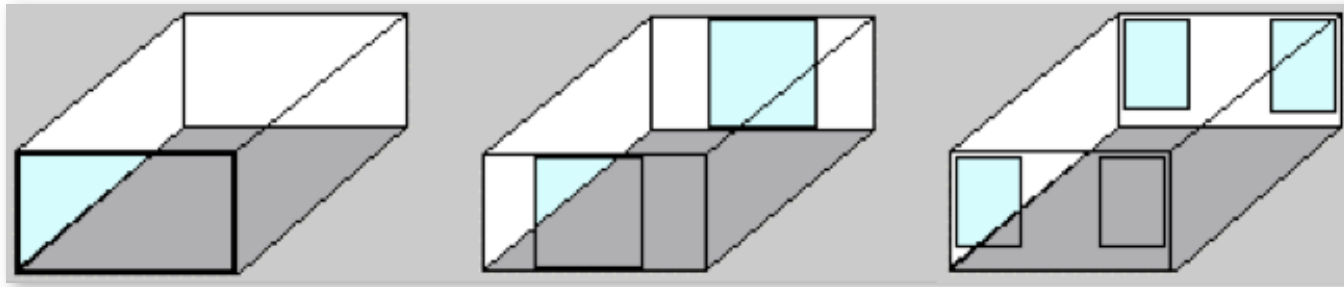
$$I_o = 30\%$$

Un indice supérieur à 30% se traduit par des risques de surchauffe accru en été (pour les façades exposées).
En site urbain (masques importants) ou lorsque l'orientation est défavorable, cette valeur est souvent indispensable

Ouvertures en Façade

- Indice d'ouverture

L'indice d'ouverture représente le pourcentage de surface vitrée rapportée à la surface du local



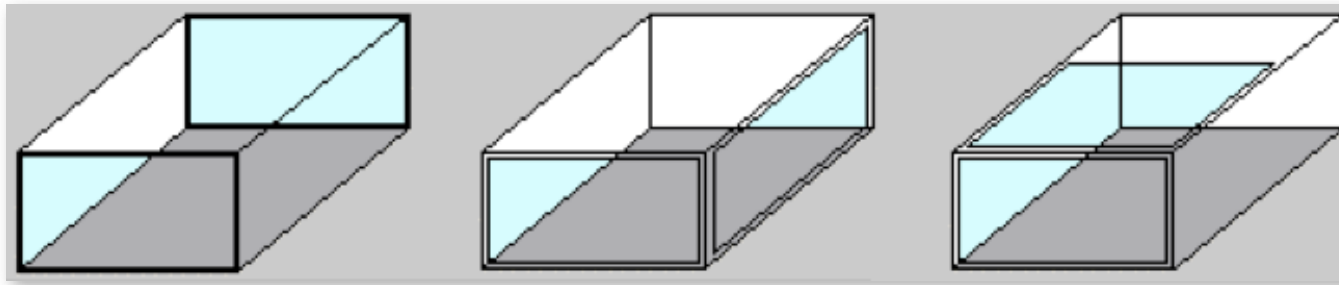
$$I_o = 50\%$$

Un indice de l'ordre de 50% se traduit par des échanges thermiques très importants (hiver & été). La mise en oeuvre de triple vitrages est nécessaire pour satisfaire le label Minergie

Ouvertures en Façade

- Indice d'ouverture

L'indice d'ouverture représente le pourcentage de surface vitrée rapportée à la surface du local



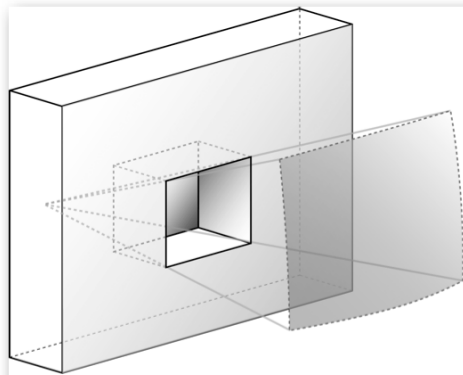
$$I_o = 100\%$$

Un indice de 100% correspond à des espaces extrêmement exposés du point de vue éclairage et thermique.

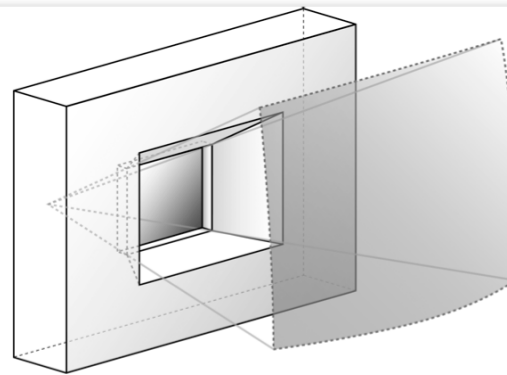
Ouvertures en Façade

- Embrasures

Dans le cas de parois épaisses (ou si les ouvertures sont de petites dimensions), le traitement des embrasures peut permettre d'augmenter sensiblement la captation de lumière naturelle.



Embrasures "classiques"



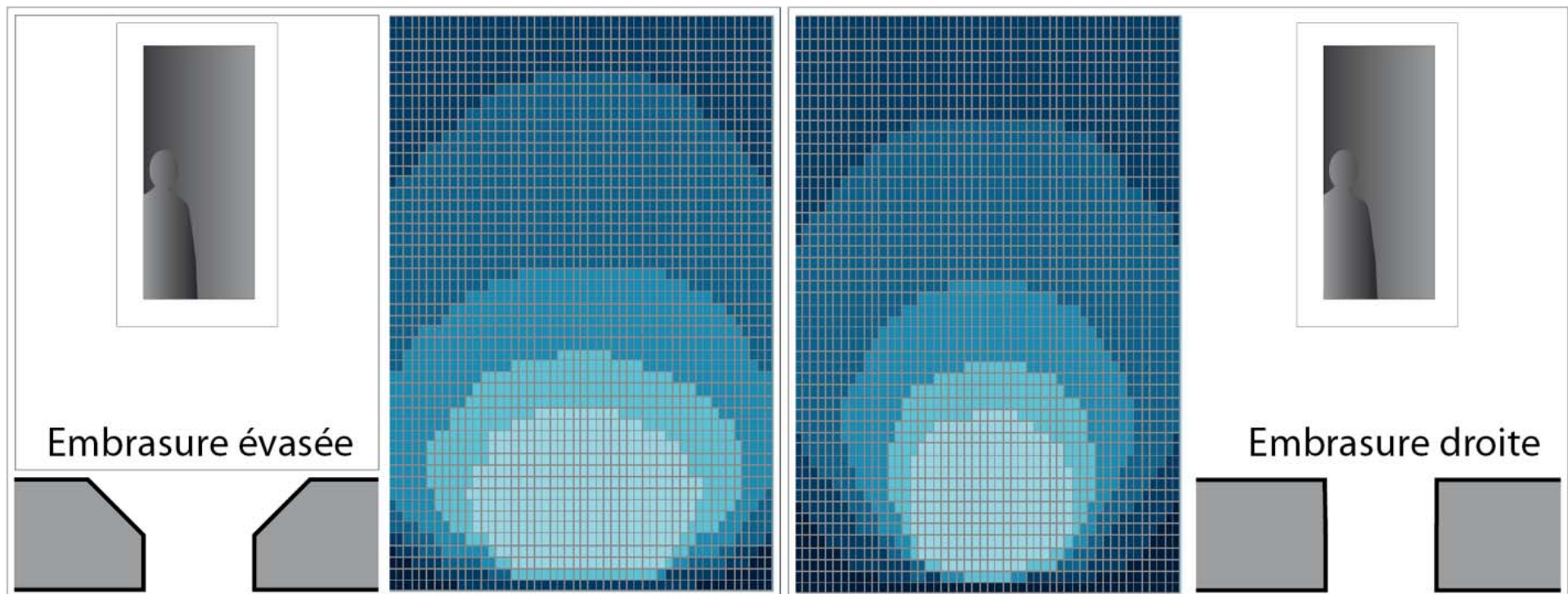
Embrasures "évasées"



Ouvertures en Façade

- Embrasures

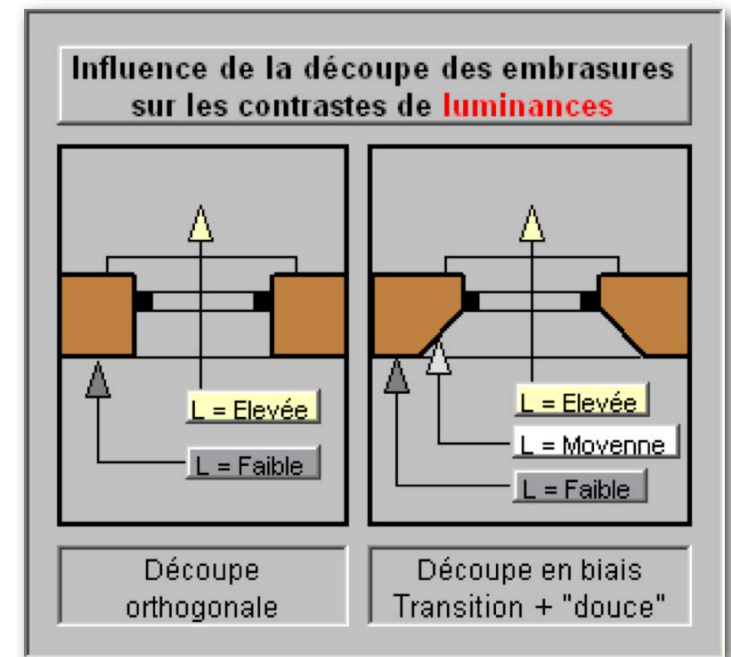
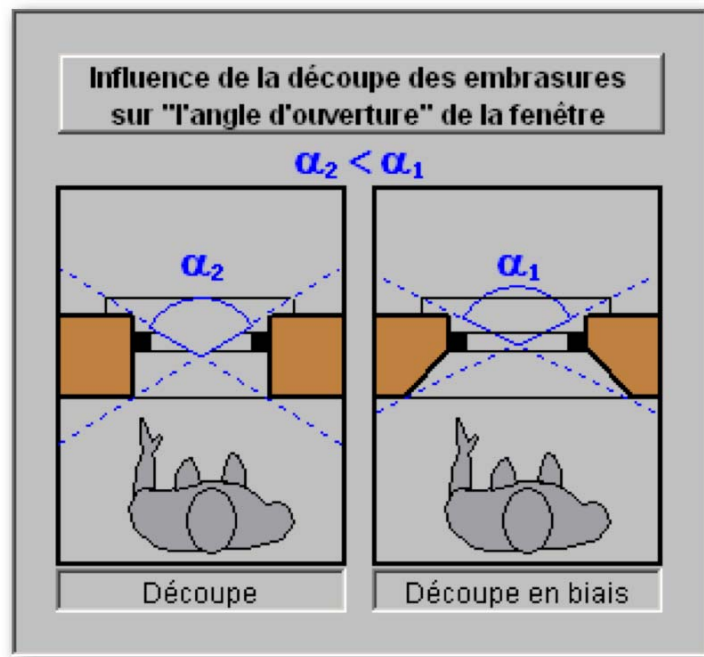
Dans le cas de parois épaisses (ou si les ouvertures sont de petites dimensions), le traitement des embrasures peut permettre d'augmenter sensiblement la captation de lumière naturelle.



Ouvertures en Façade

- Embrasures

La découpe en biais des embrasures permet d'augmenter l'angle de vision vers l'extérieur et offre une transition lumineuse plus « douce ».



Ouvertures en Façade

Menuiseries

Les menuiseries représentent un obstacle au passage de la lumière naturelle.



Ouvertures en Façade

- Menuiseries : Ouvrants / Fixes

La simplification des systèmes d'ouverture permet d'augmenter de façon notable la quantité de lumière transmise.



Indice de vitrage = 24.1%

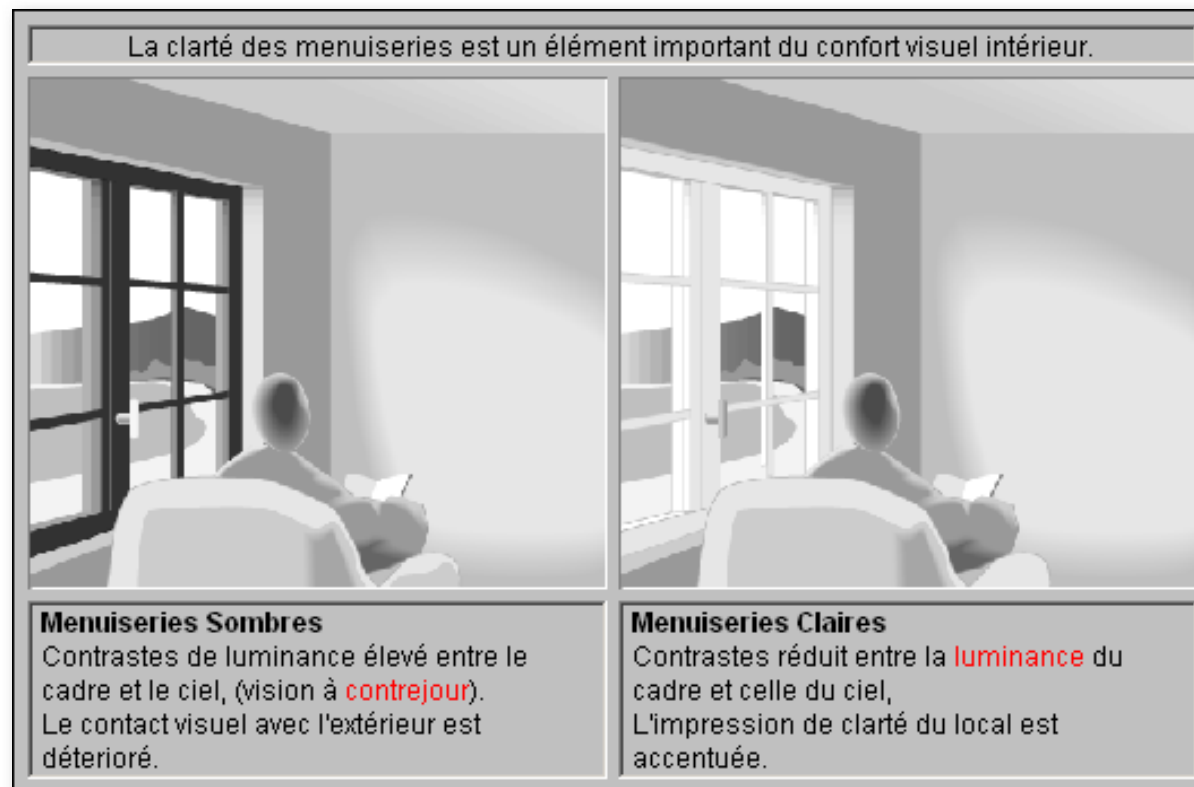
Indice de vitrage = 16.5%

Ouvertures en Façade

- Menuiseries : Couleur

Des menuiseries de couleur sombre accentuent la rupture visuelle avec l'extérieur.

L'augmentation du contraste de luminance nuit au confort visuel



Ouvertures en Façade

- Menuiseries : Position

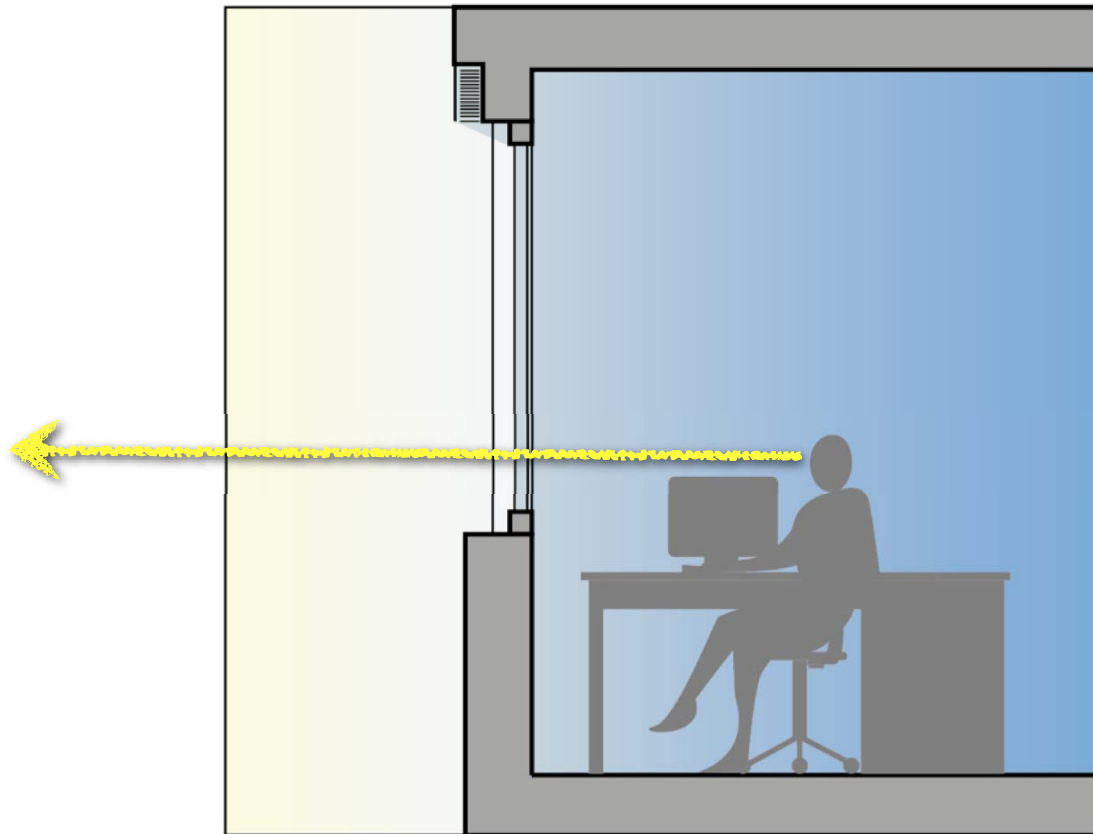
Les cadres doivent être conçus en relation avec la position de l'observateur (vision vers l'extérieur)



Ouvertures en Façade

- Vitrages clairs

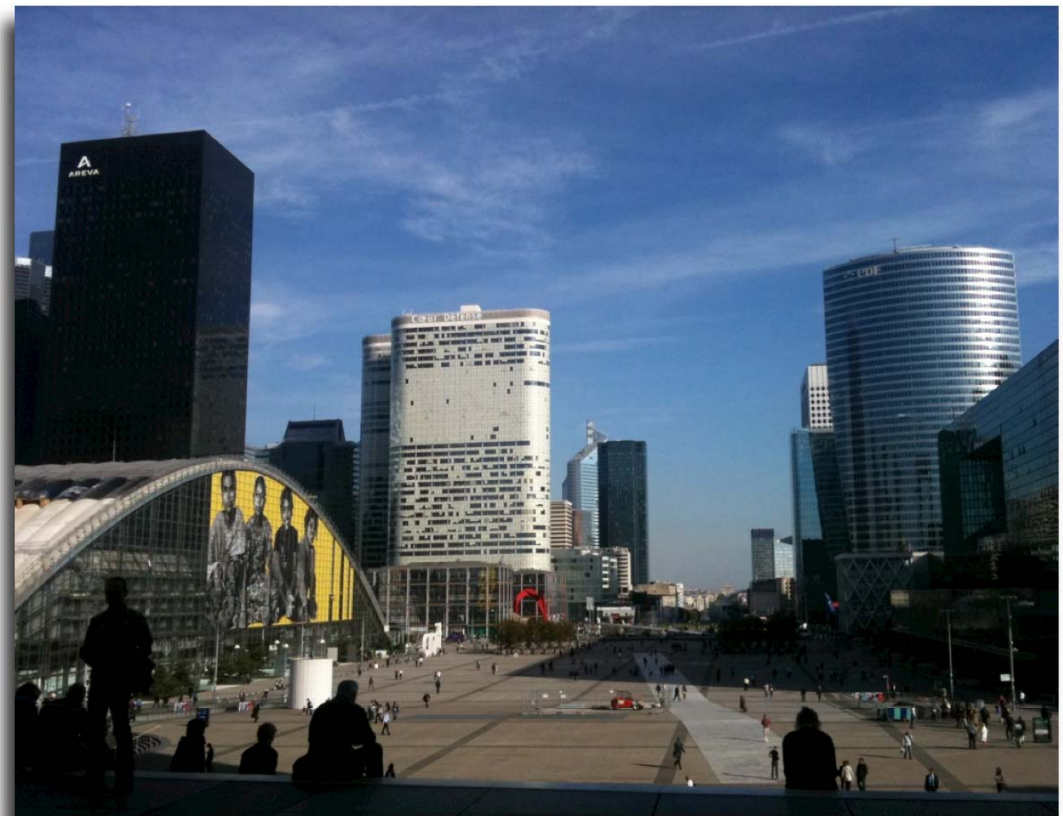
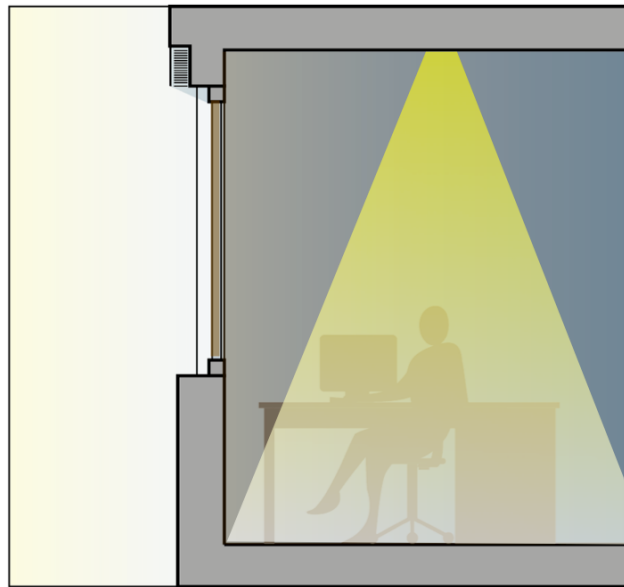
L'emploi de vitrages clairs permet de maximiser les apports de lumière naturel en toutes circonstances.



Ouvertures en Façade

- Vitrages teintés ou réfléchissants

L'emploi de vitrages teintés ou réfléchissants entraîne une sur-utilisation de l'éclairage artificiel sans pour autant résoudre les problèmes d'éblouissement ou de surchauffe estivale.



- Vitrages teintés ou réfléchissants

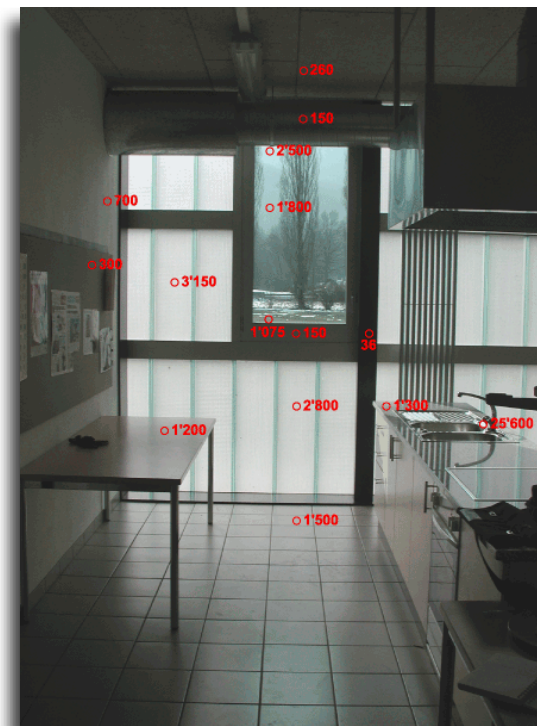
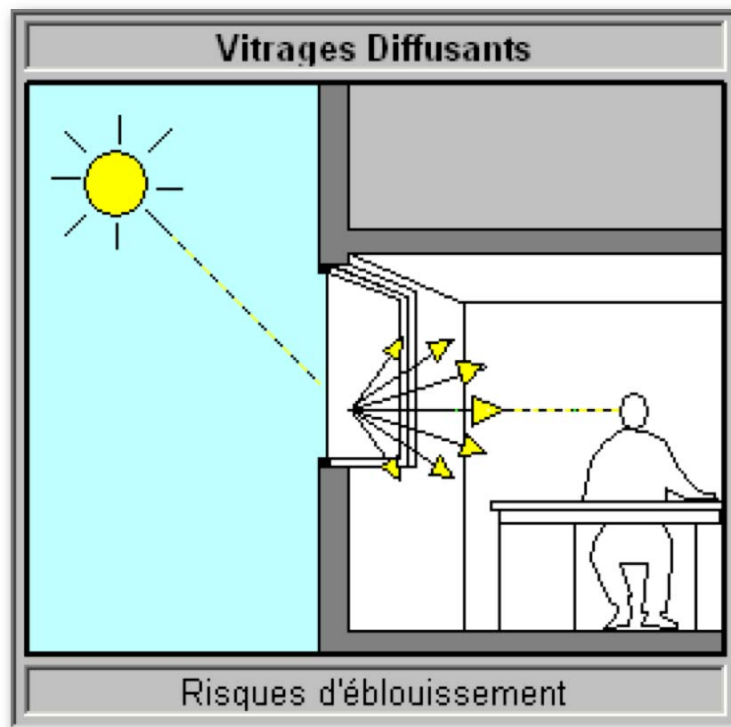
L'emploi de vitrages teintés ou réfléchissants entraîne une sur-utilisation de l'éclairage artificiel sans pour autant résoudre les problèmes d'éblouissement ou de surchauffe estivale.



Ouvertures en Façade

- Vitrages diffusants

L'emploi de vitrages diffusants ou opalescents entraîne la perte de la vision vers l'extérieur. Exposés au soleil, les vitrages peuvent devenir des sources secondaires éblouissantes



Ouvertures en Façade

- Vitrages sérigraphiés

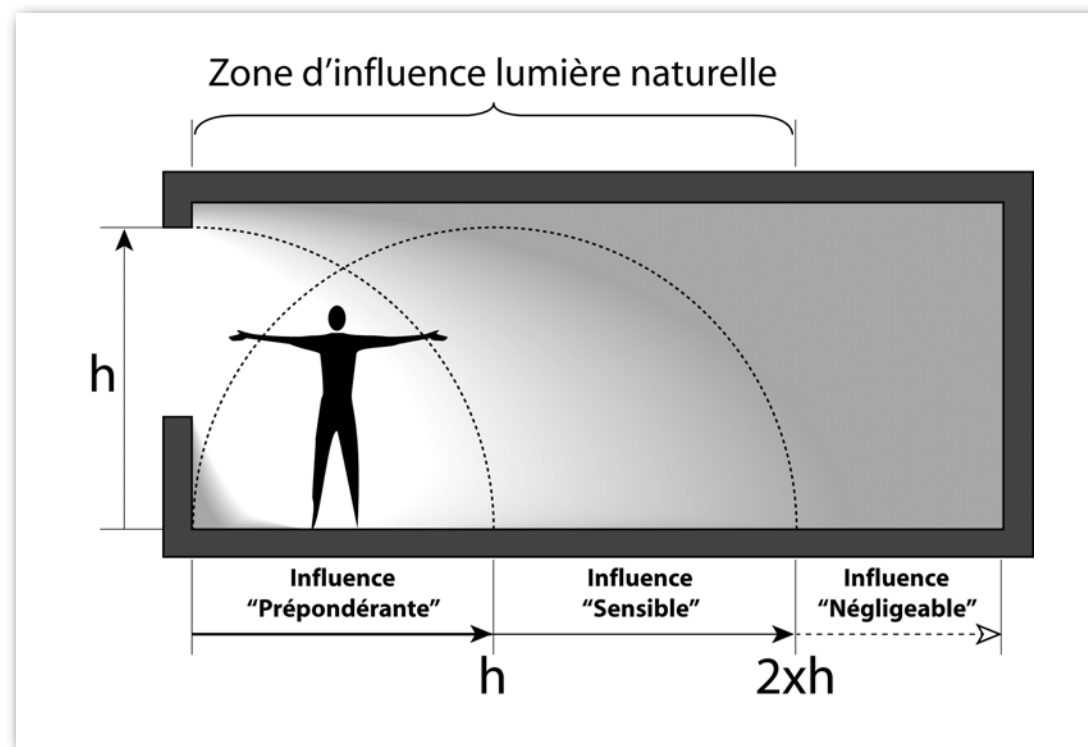
L'emploi de vitrages sérigraphiés ne doit pas se faire au détriment de la vue vers l'extérieur.



Ouvertures en Façade

- Zone d'influence d'une ouverture

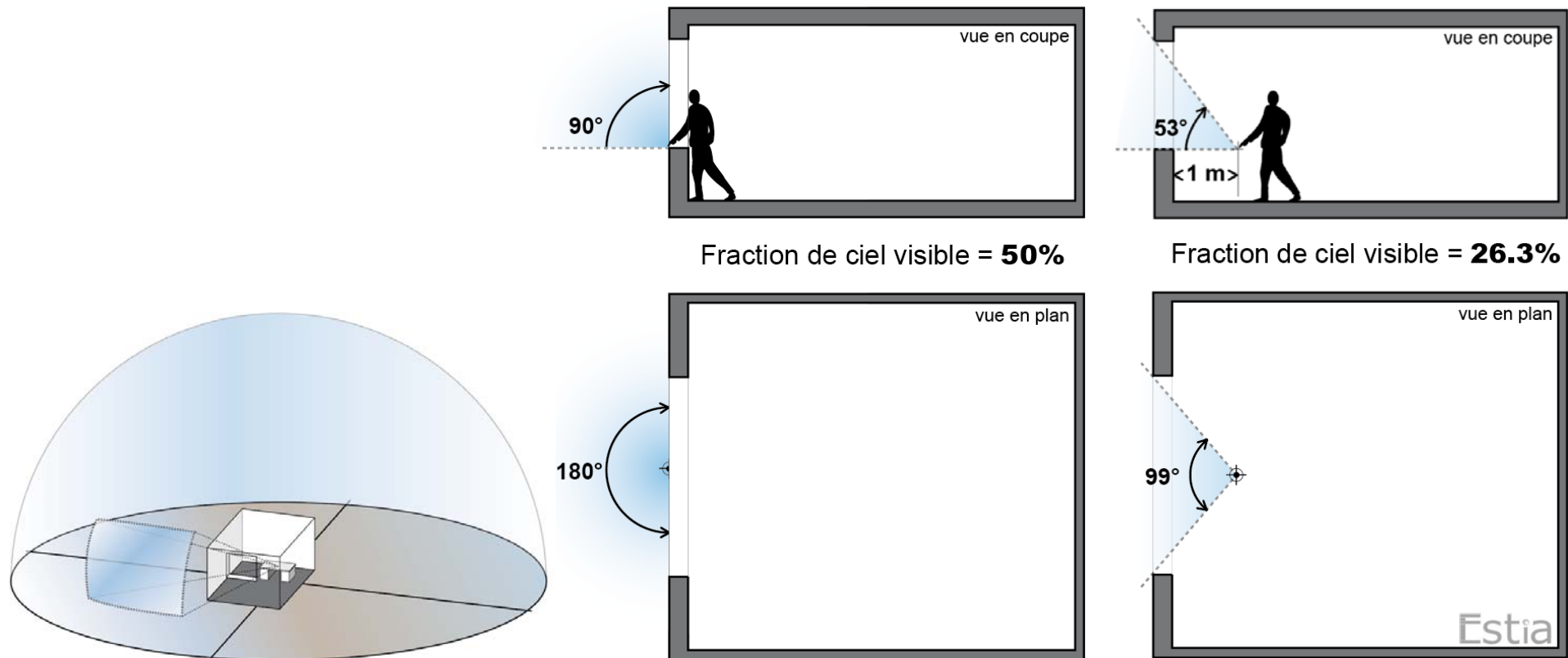
La zone d'influence de la lumière naturelle est directement liée à la position de la limite supérieure du vitrage (h). Au delà d'une distance égale à $2xh$, l'influence de l'ouverture est « négligeable »



Ouvertures en Façade

- Profondeur : Fraction visible du ciel

La portion de ciel visible décroît très rapidement dès que l'on s'éloigne des façades

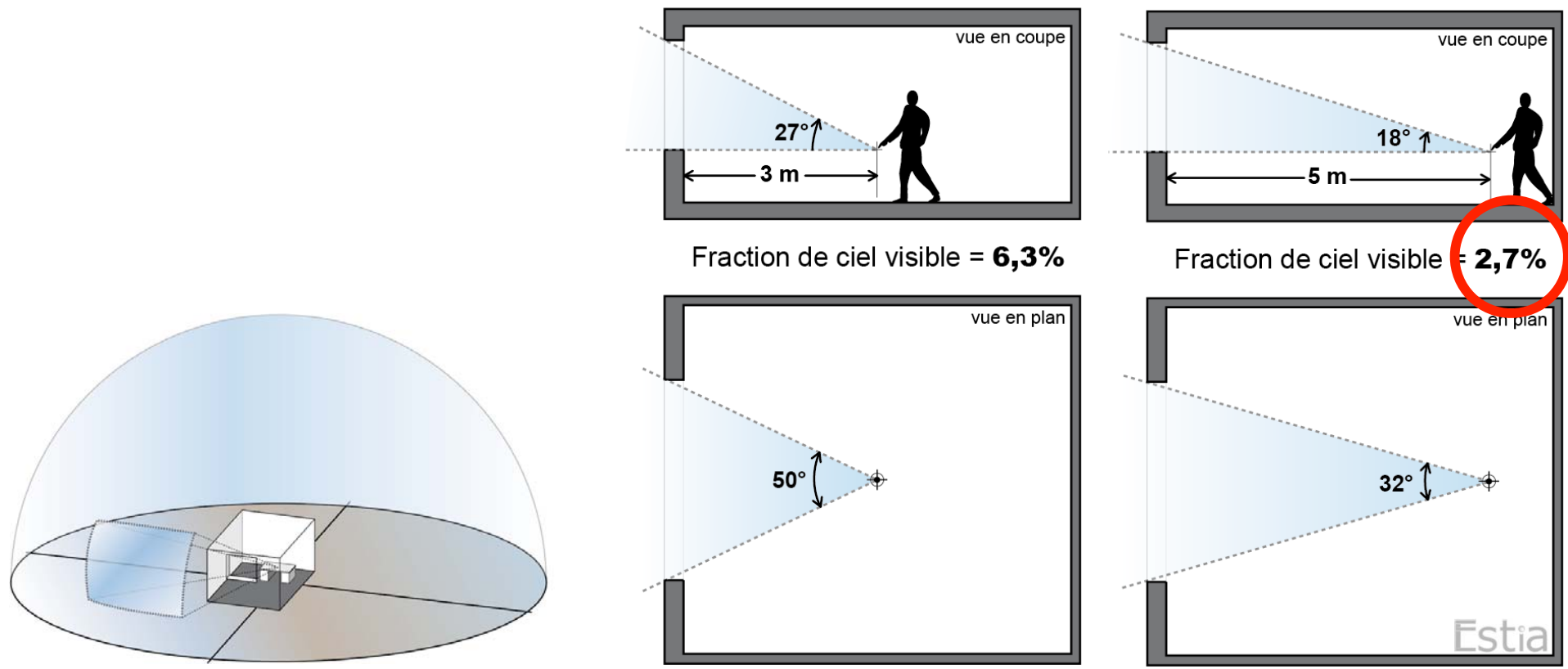


Ouvertures en Façade

29

- Profondeur : Fraction visible du ciel

Les niveaux d'éclairement intérieurs ne représentent qu'une fraction infime de la lumière diffuse disponible à l'extérieur

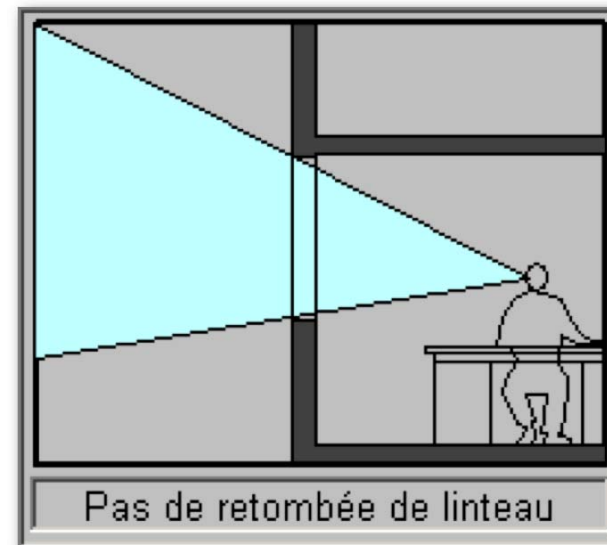
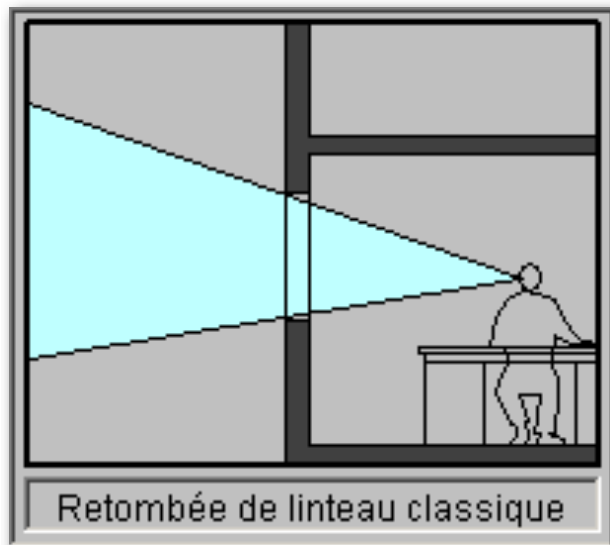


Ouvertures en Façade

- Linteau

Chaque fois que cela est possible, il faut aller chercher la lumière naturelle «vers le haut» en réduisant la retombée du linteau.

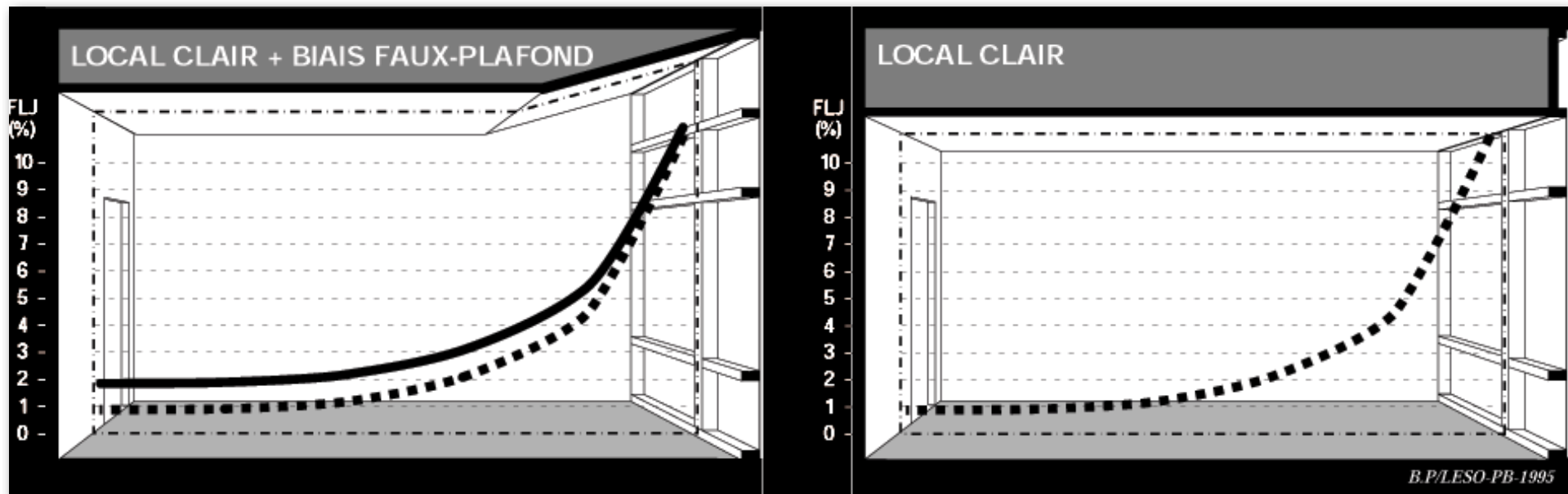
Plus l'angle de vision du ciel est important, plus la contribution de la lumière naturelle sera élevée en fond de local.



Ouvertures en Façade

- Faux-plafonds

Le fait d'interrompre le faux-plafond pour augmenter la surface vitrée permet de doubler la quantité de lumière disponible en fond de pièce.

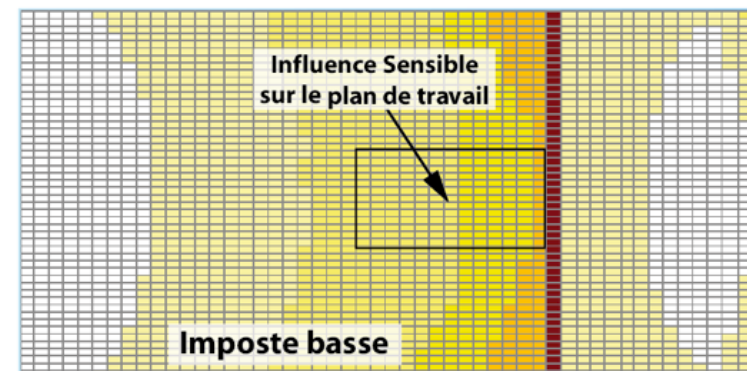
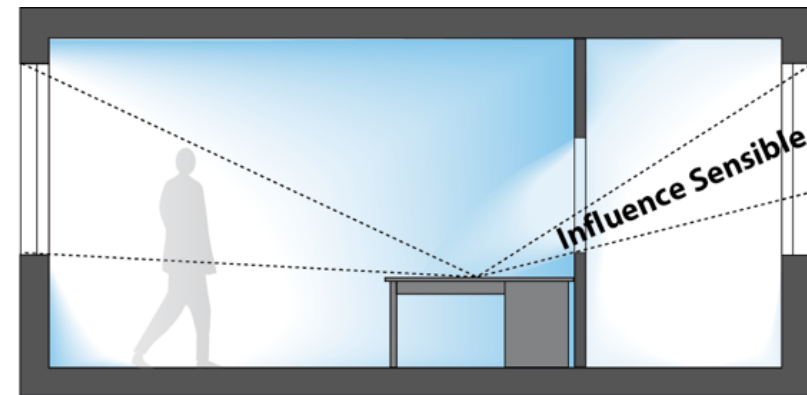
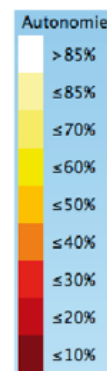
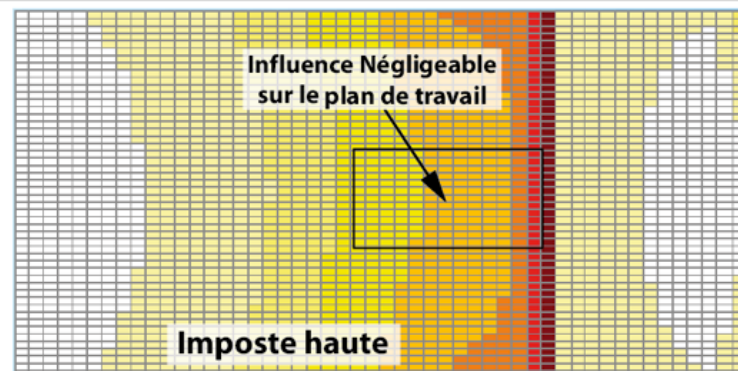
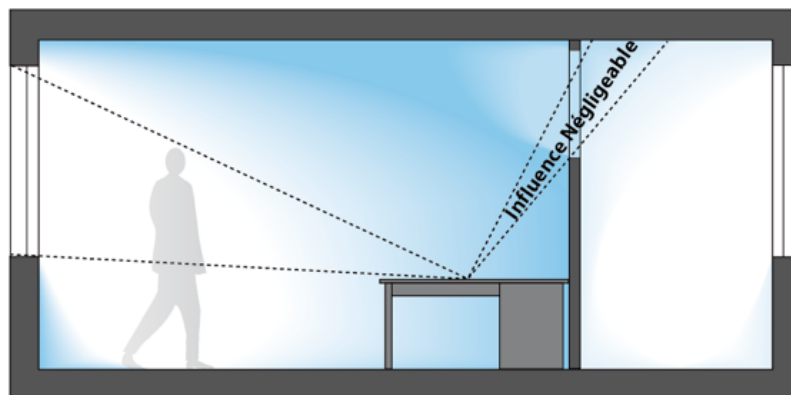


= 2 fois plus de lumière en fond de pièce

Ouvertures en Façade

- Second-jours

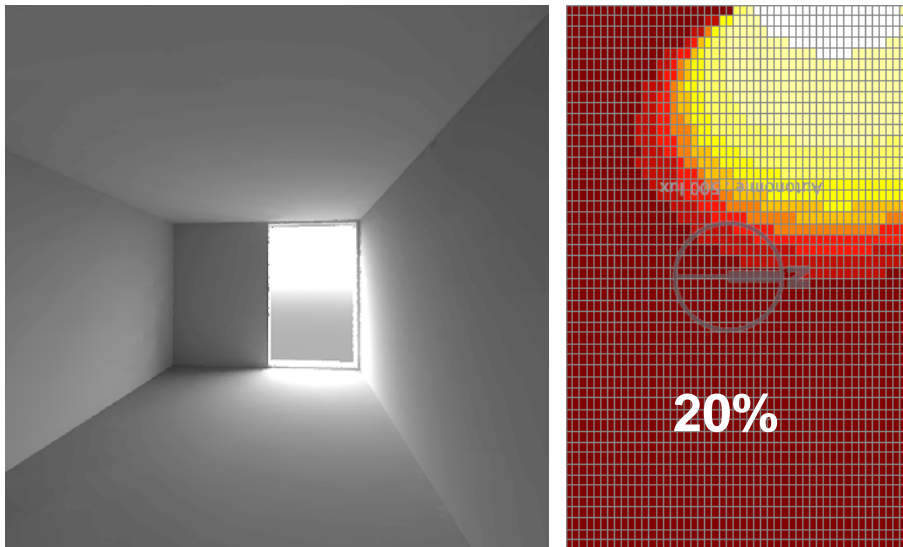
Une ouverture en second-jour n'est « utile », du point de vue quantitatif, que si elle permet de « voir » le ciel depuis le point d'observation considéré.



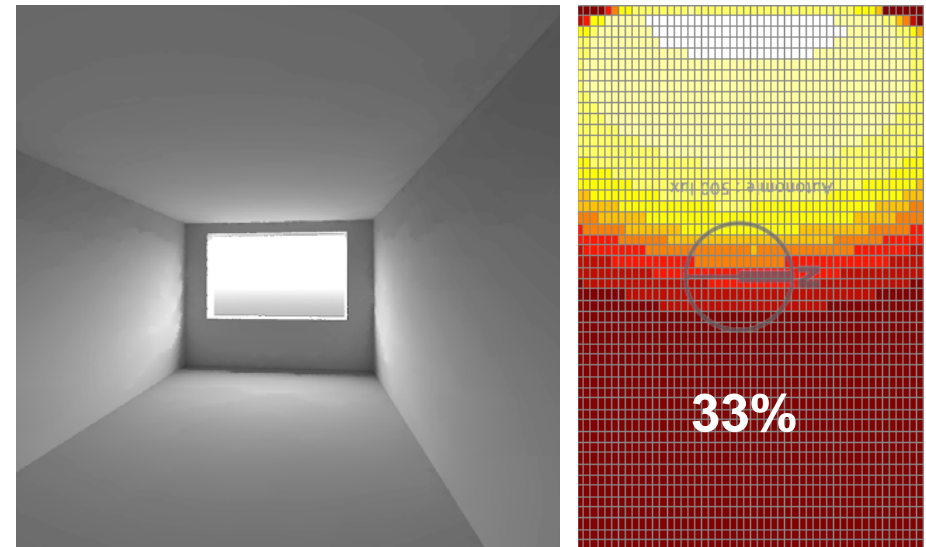
Ouvertures en Façade

- Ouverture verticale ou horizontale

A indice de vitrage équivalent, une ouverture verticale toute hauteur est moins efficace qu'une ouverture horizontale.



Ouverture verticale ($I_{\text{vitrage}} = 15\%$)



Ouverture Horizontale ($I_{\text{vitrage}} = 15\%$)

Ouvertures en Façade

- Position postes de travail

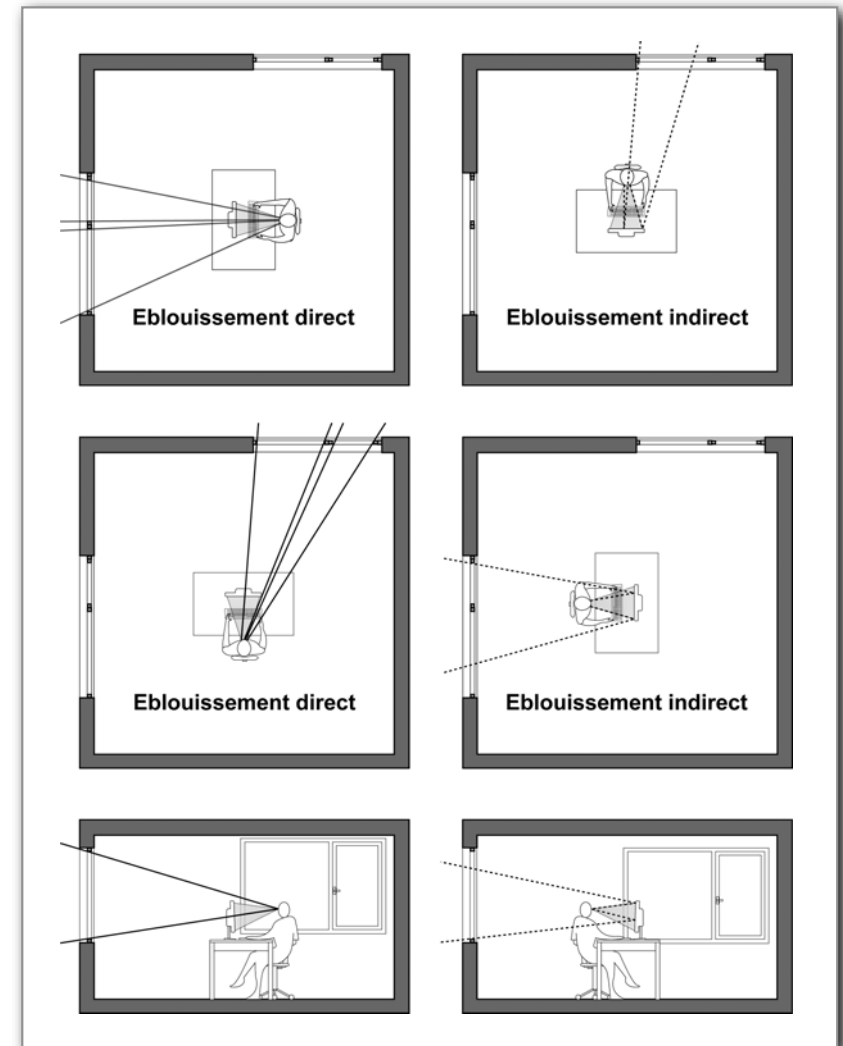
L'espace doit être aménagé de façon à ce que, pour le travail à l'écran, la direction du regard soit parallèle au plan des vitrages



Ouvertures en Façade

- Ouvertures bilatérales adjacentes

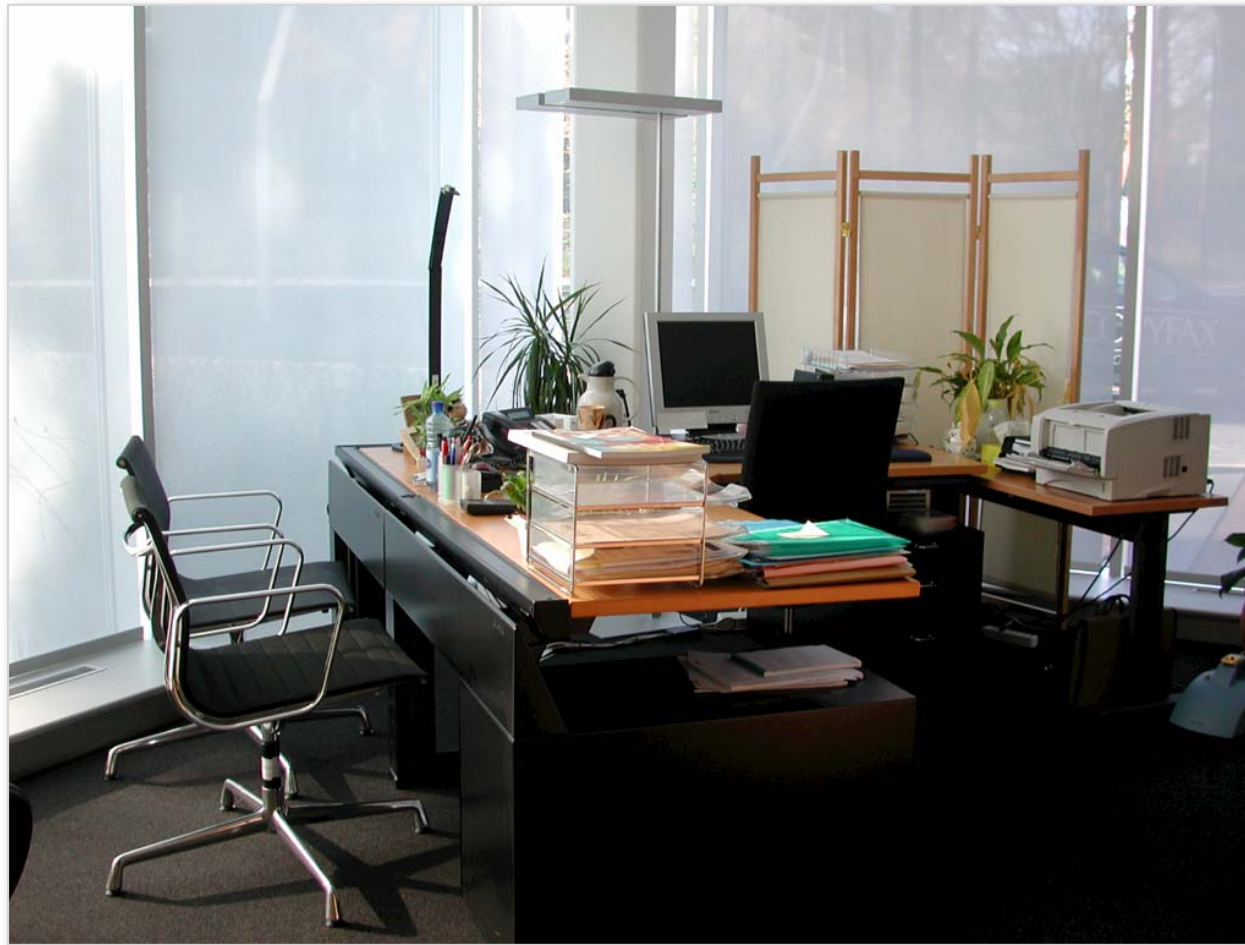
La présence d'ouvertures sur deux faces contiguës d'une même local entraîne des risques d'éblouissement élevée (en direct ou par réflexion).



Cette configuration est fortement déconseillée dans le cas de postes de travail informatisés.

Ouvertures en Façade

- Ouvertures bilatérales adjacentes



Ouvertures en Façade

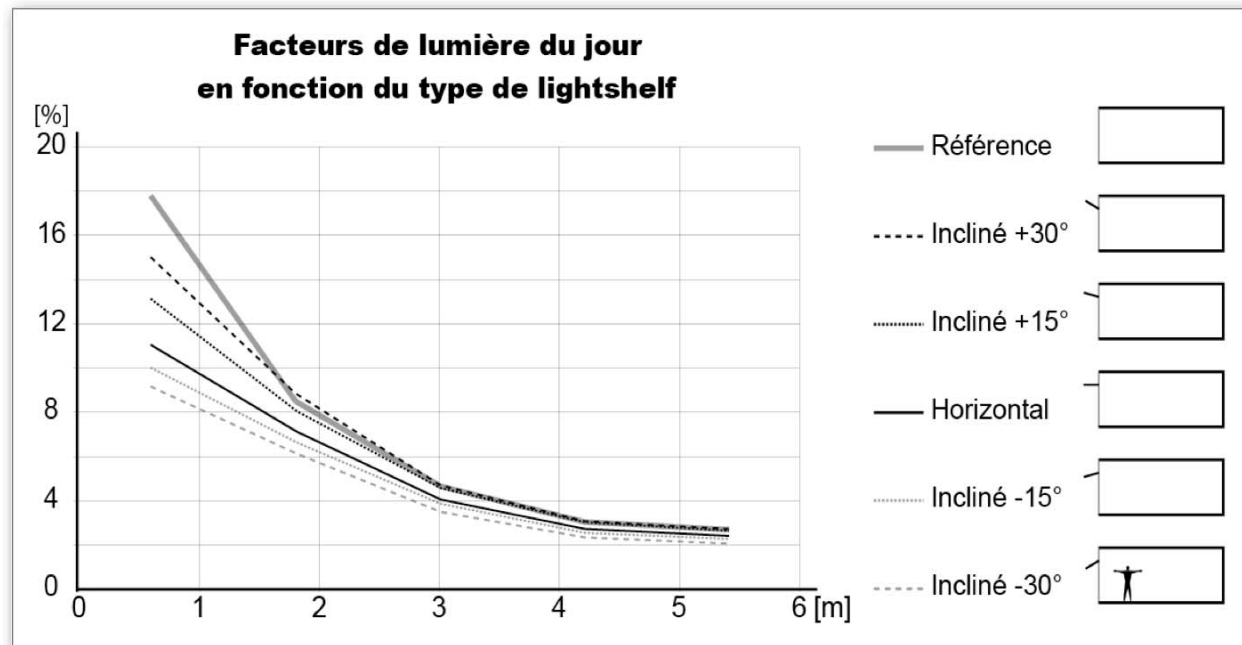
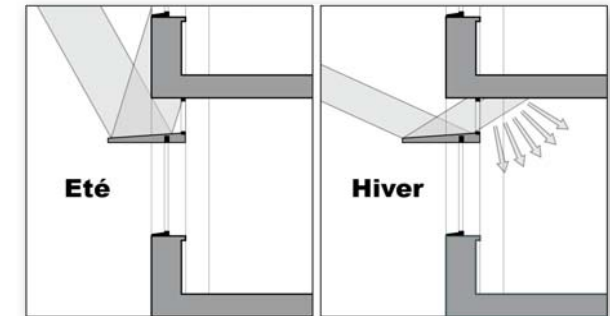
- Traitement des angles du bâtiment



Ouvertures en Façade

- Lightshelf

La mise en oeuvre d'un bandeau-lumineux (ou lightshelf) permet de réduire les niveaux d'éclairage près de la fenêtre, tout en maintenant la quantité de lumière disponible en fond de pièce.



Ouvertures en Façade

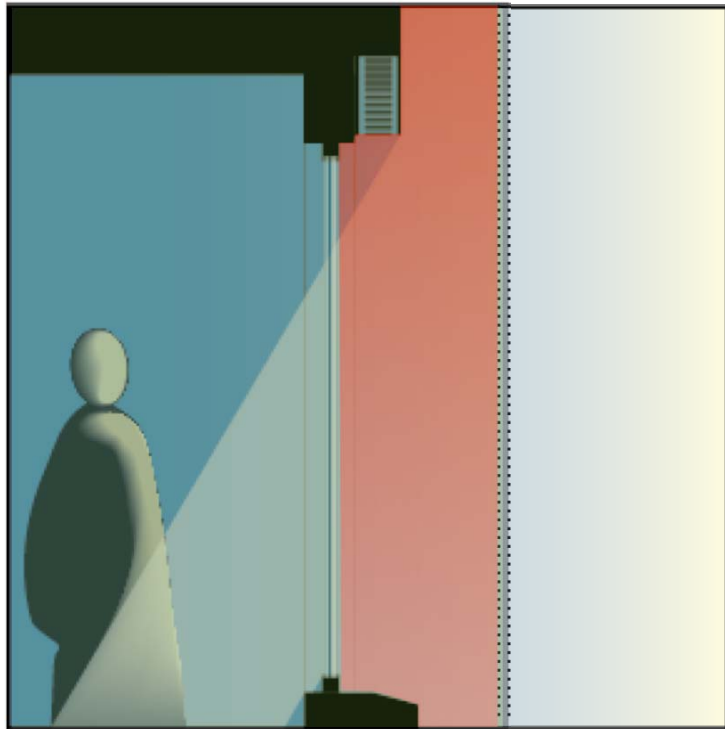
- Double-peau



Ouvertures en Façade

- Double-peau

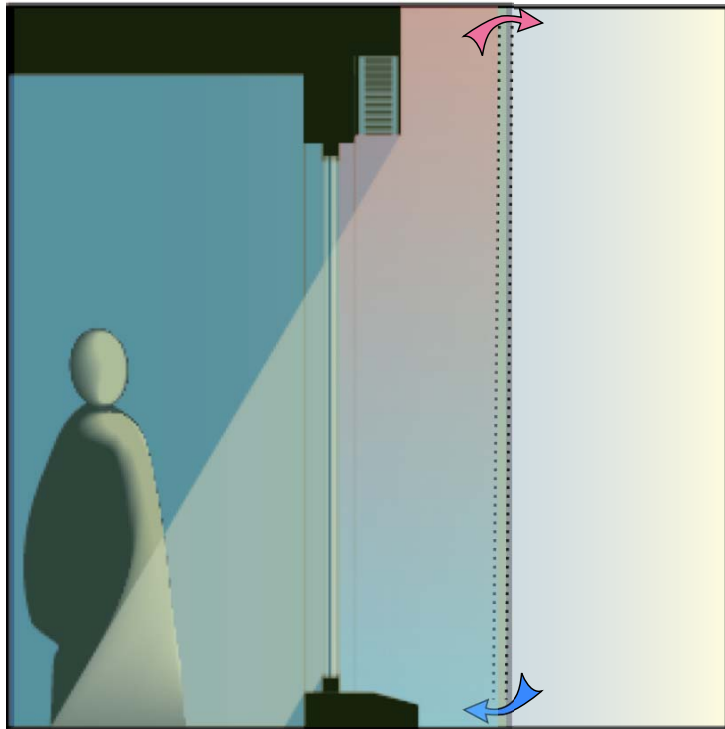




| | |
|-------------------------|---|
| Lumière naturelle | - |
| Eblouissement | = |
| Isolation en hiver | + |
| Gains solaires en hiver | - |
| Surchauffes en été | - |
| Ventilation naturelle | - |
| Protection acoustique | + |

la question
des doubles peaux

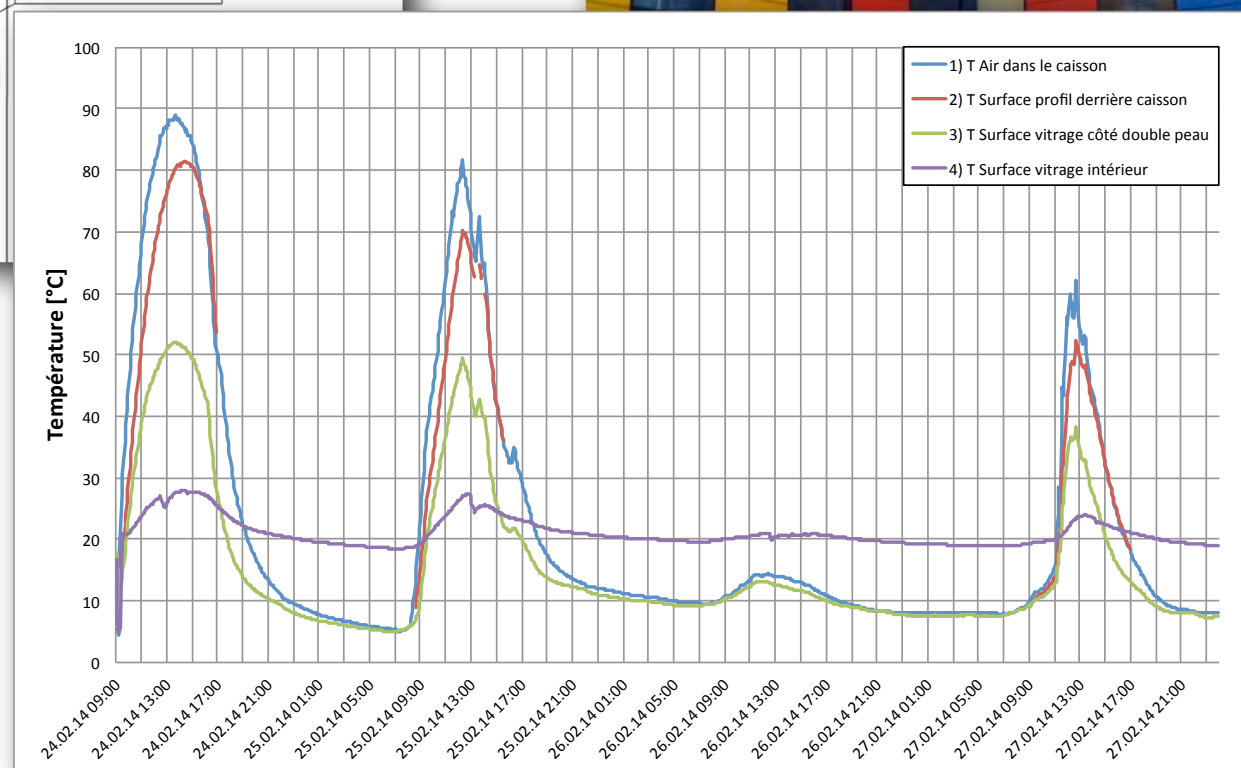
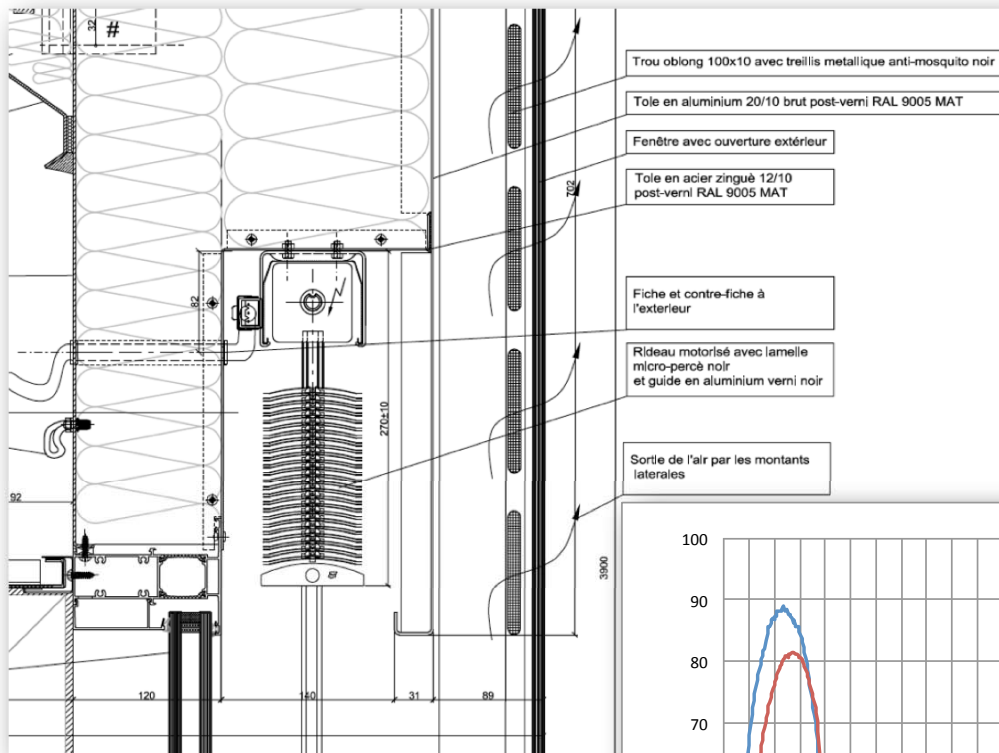
Systeme fermé



| | |
|-------------------------|---|
| Lumière naturelle | - |
| Eblouissement | = |
| Isolation en hiver | = |
| Gains solaires en hiver | - |
| Surchauffes en été | - |
| Ventilation naturelle | - |
| Protection acoustique | + |

la question
des doubles peaux

Systeme ouvert

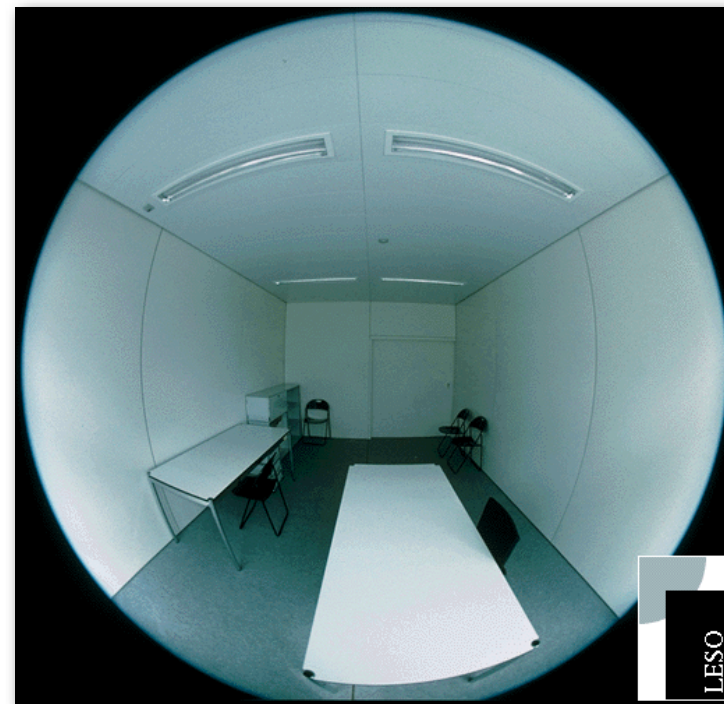
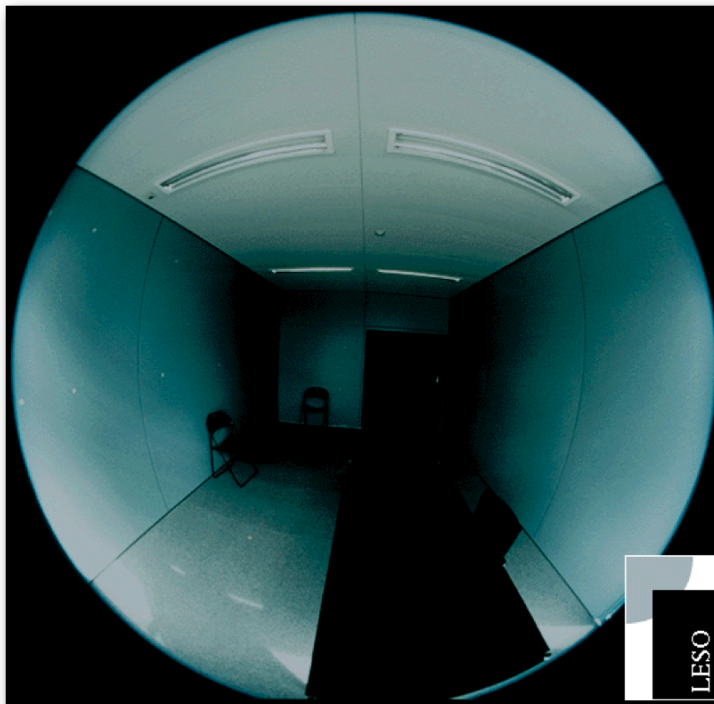


Local

- Clarté des parois

La clarté des parois intérieures influence de manière prépondérante la quantité de lumière disponible en fond de pièce.

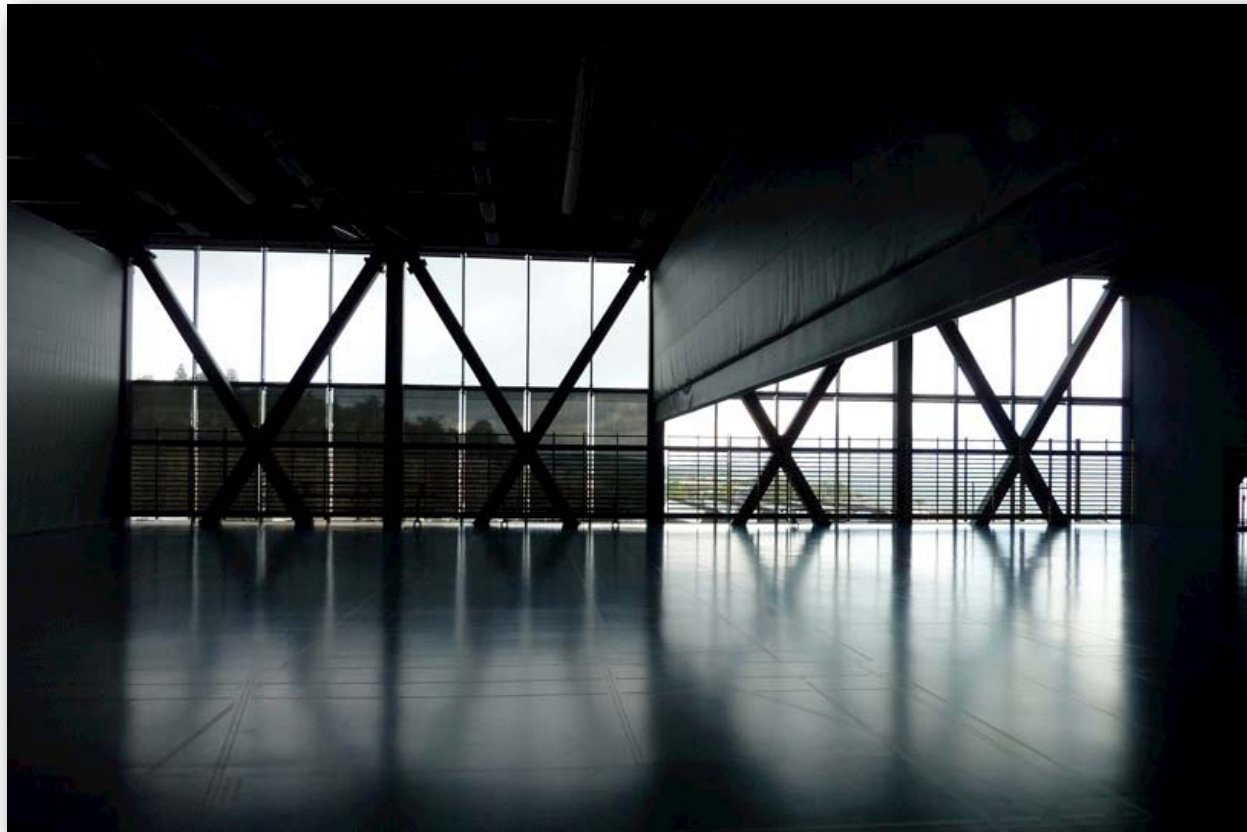
De plus, un local sombre apparaît toujours plus exigu qu'un local clair.



Local

- Clarté des parois

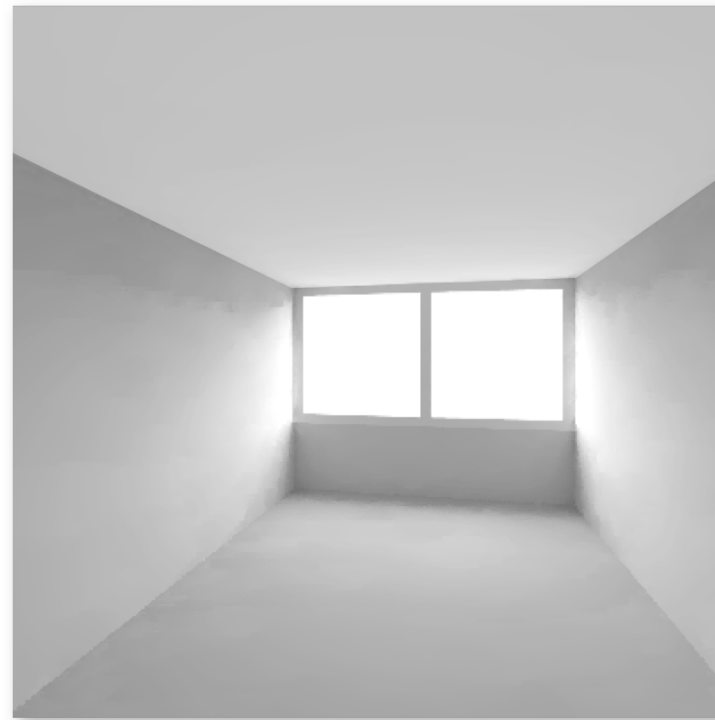
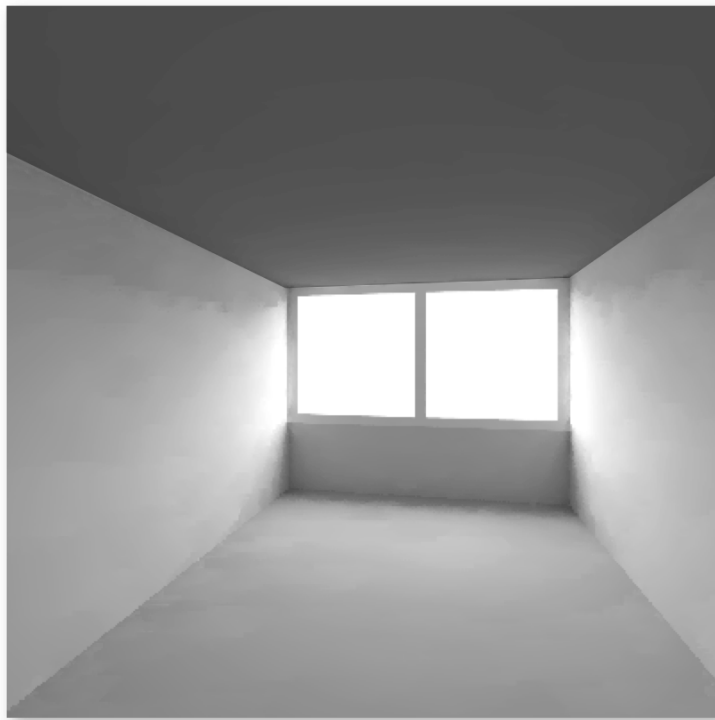
Des parois sombres génèrent de forts contrastes et pénalisent le confort visuel



Local

- Clarté du plafond

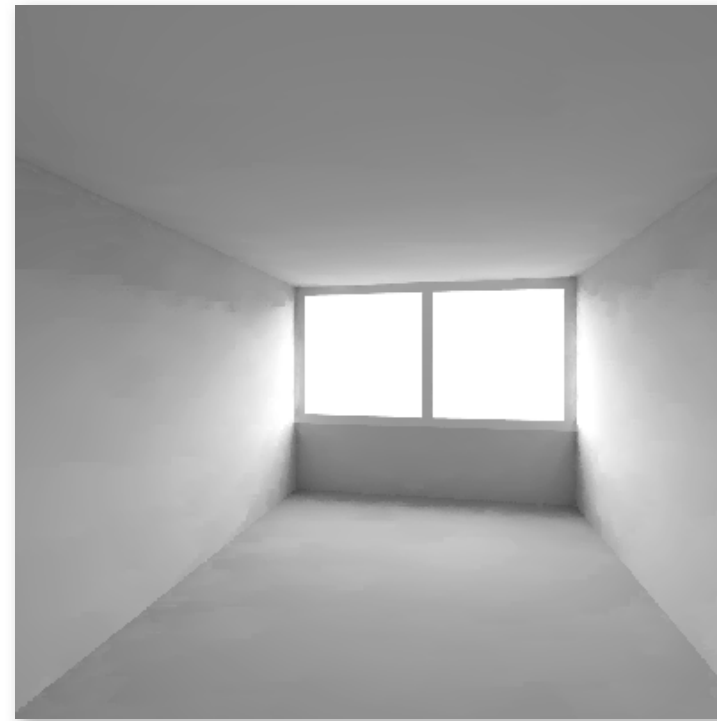
Un plafond sombre induit une sensation « d'écrasement » qui est souvent perçue de manière négative par les occupants.



Local

- Brillances

L'emploi de matériaux brillants entraîne des risques d'éblouissement. Ceci est particulièrement vrai pour les revêtement de sol (l'oeil est plus sensible aux fortes luminance dans la partie basse du champ visuel)





Ouvertures en Toiture



Ouvertures en Toiture

- Verrières horizontales

Du point de vue saisonnier, les ouvertures horizontales se comportent exactement à l'inverse de ce qui est souhaitable !

- Beaucoup de gains en été
- Peu de gains en hiver

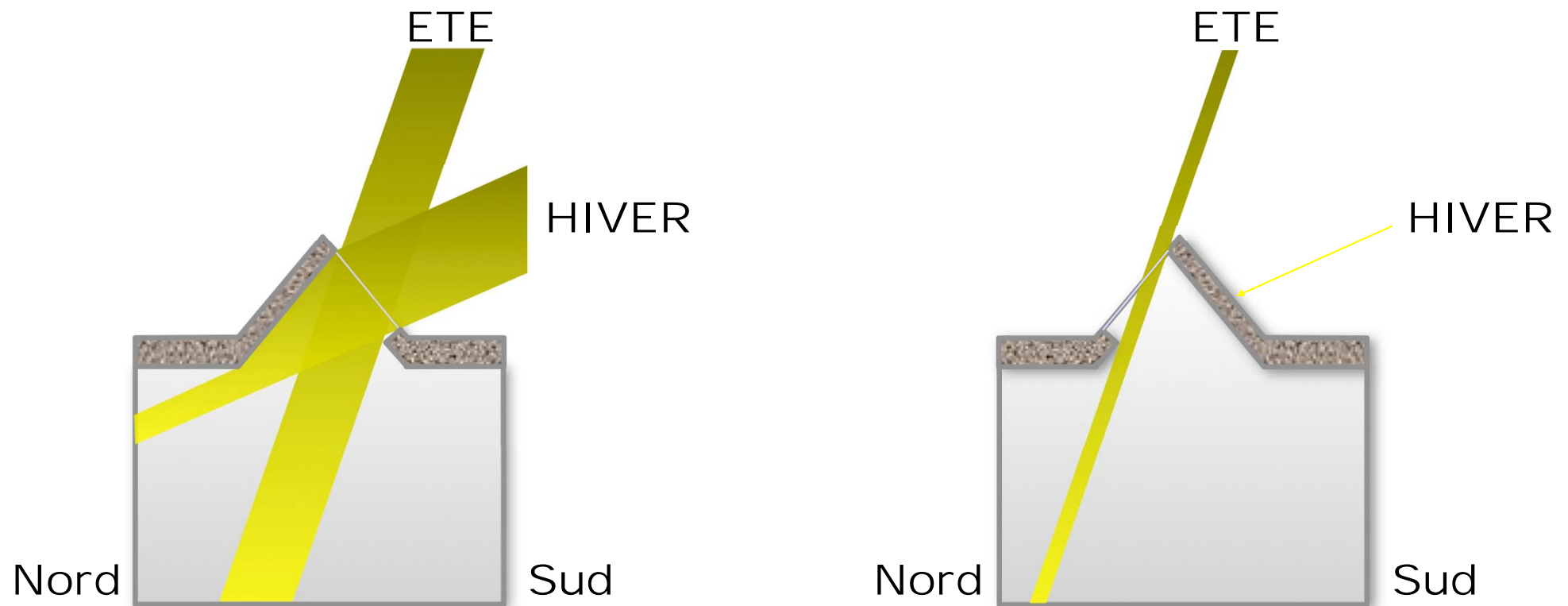


Ouvertures en Toiture

- Verrières inclinées

L'inclinaison des ouvertures permet de ré-équilibrer les apports solaires entre hiver et été.

L'orientation permet de choisir le « risque » de surchauffe estivale

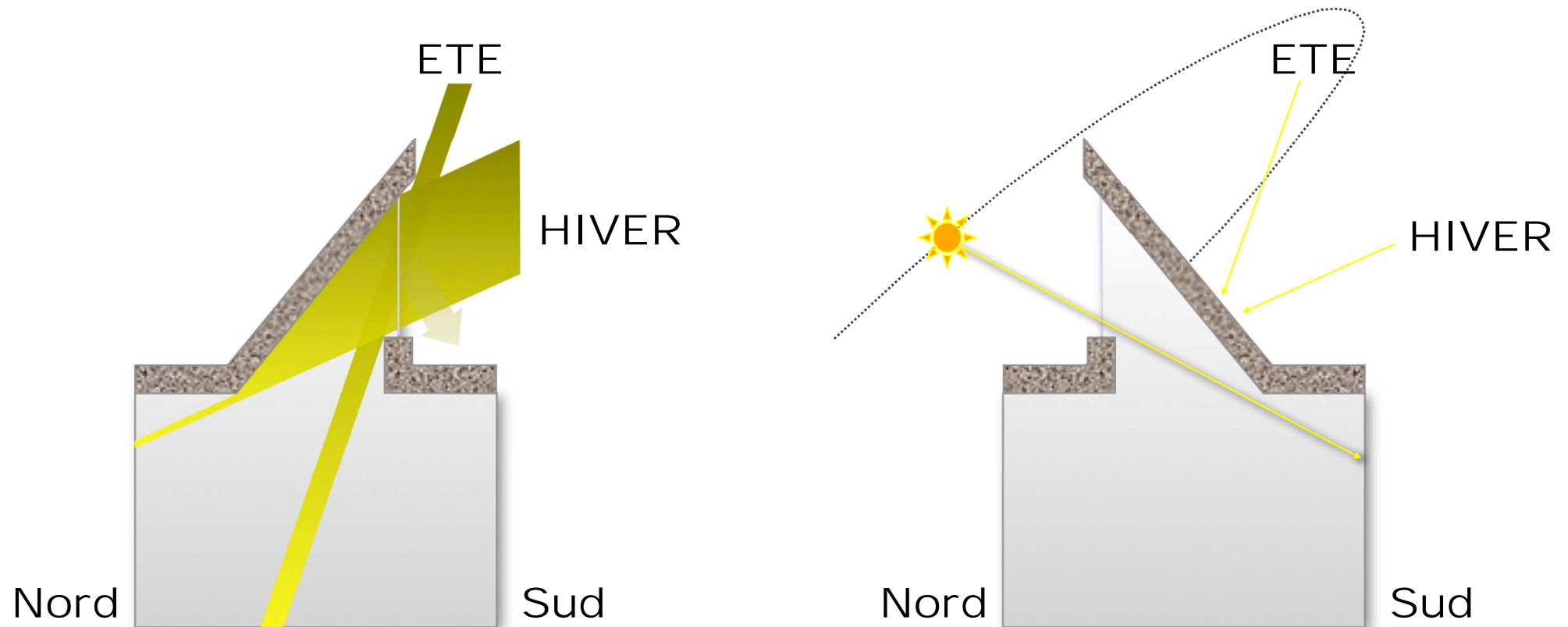


Ouvertures en Toiture

- Sheds verticaux

Orientés au Sud, les sheds verticaux permettent de favoriser les apports en hiver au détriment de l'été.

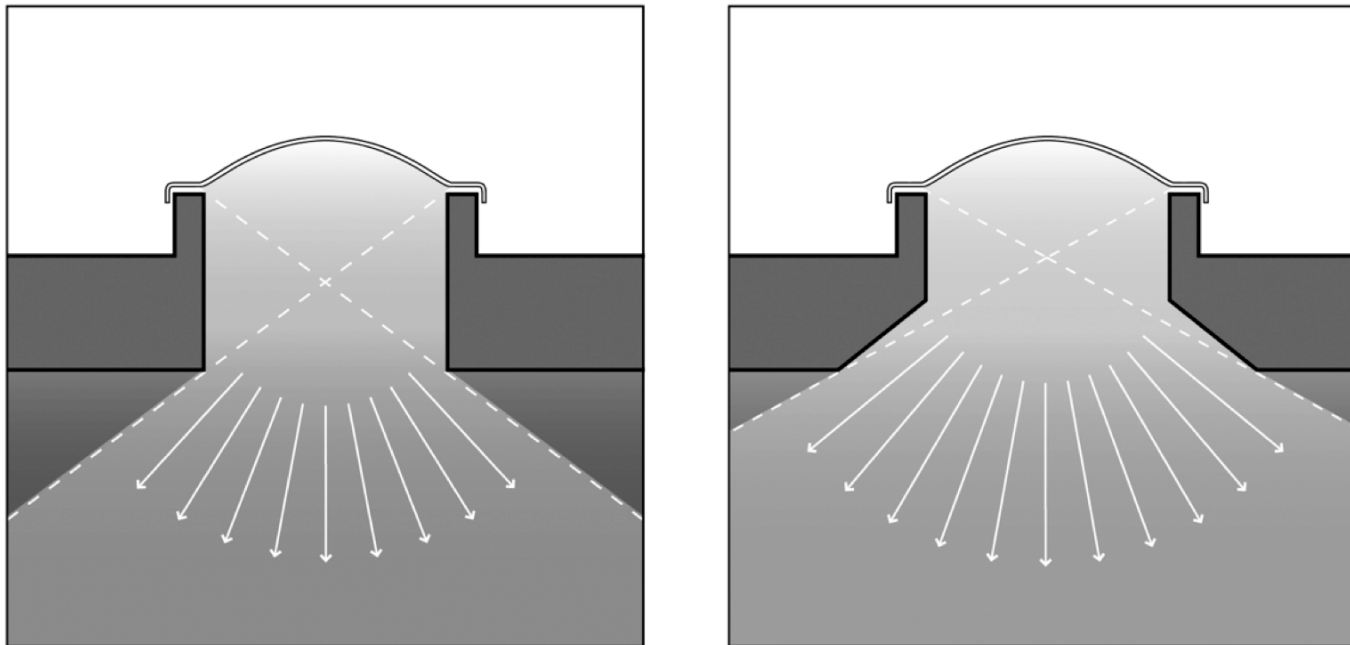
Orientés au Nord, les apports sont extrêmement réduits (mais pas nuls)



Ouvertures en Toiture

- Traitement de l'épaisseur de la toiture

Une forme de costière évasée permet d'élargir la distribution de lumière naturelle et de réduire la part du flux lumineux absorbé lors du franchissement de l'épaisseur de la toiture

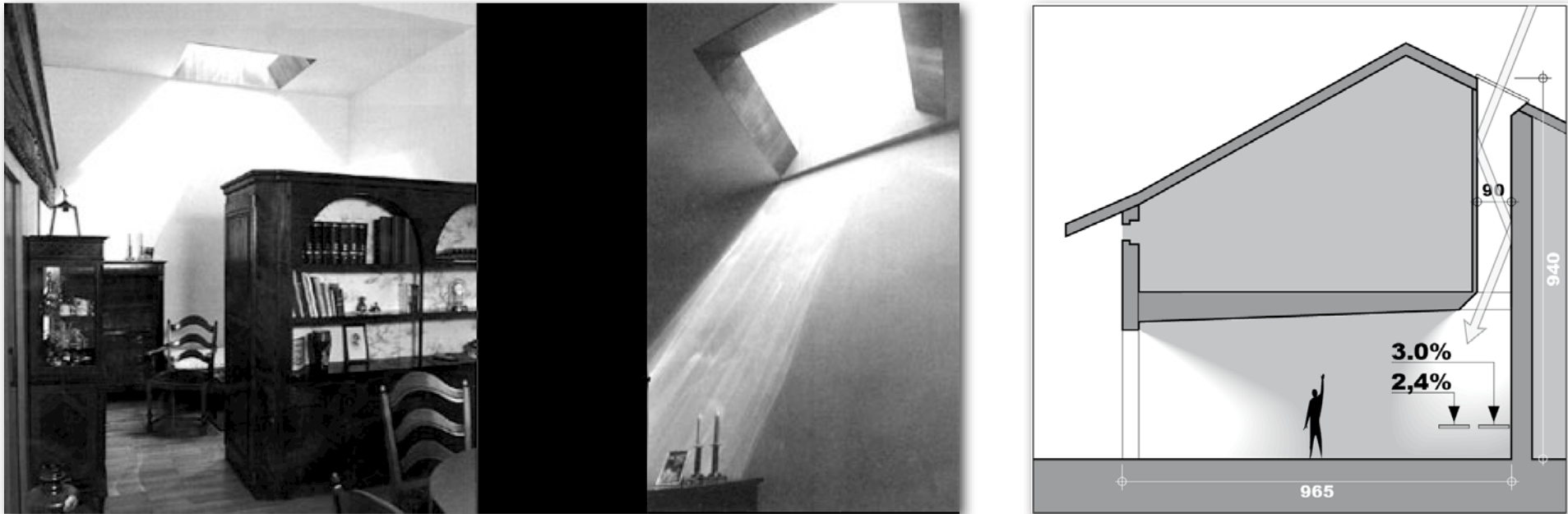


Ouvertures en Toiture

- Cheminées de lumière

Il est possible de conduire la lumière à travers un ou plusieurs niveaux. Pour cela, il est impératif de revêtir le conduit avec un matériau très réfléchissant (aluminium anodisé).

Par ailleurs, le rapport Hauteur/Section ne doit pas dépasser 1/8

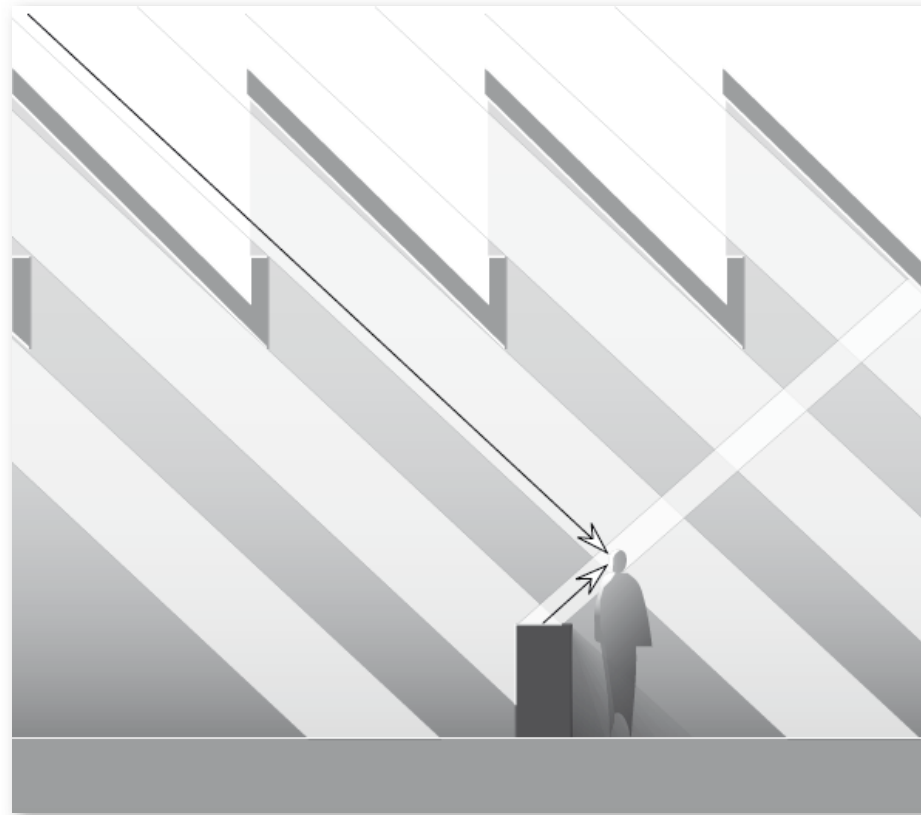


Genève, Maison Kunz, Mario Cuccinella architecte

Ouvertures en Toiture

- Vitrages transparents

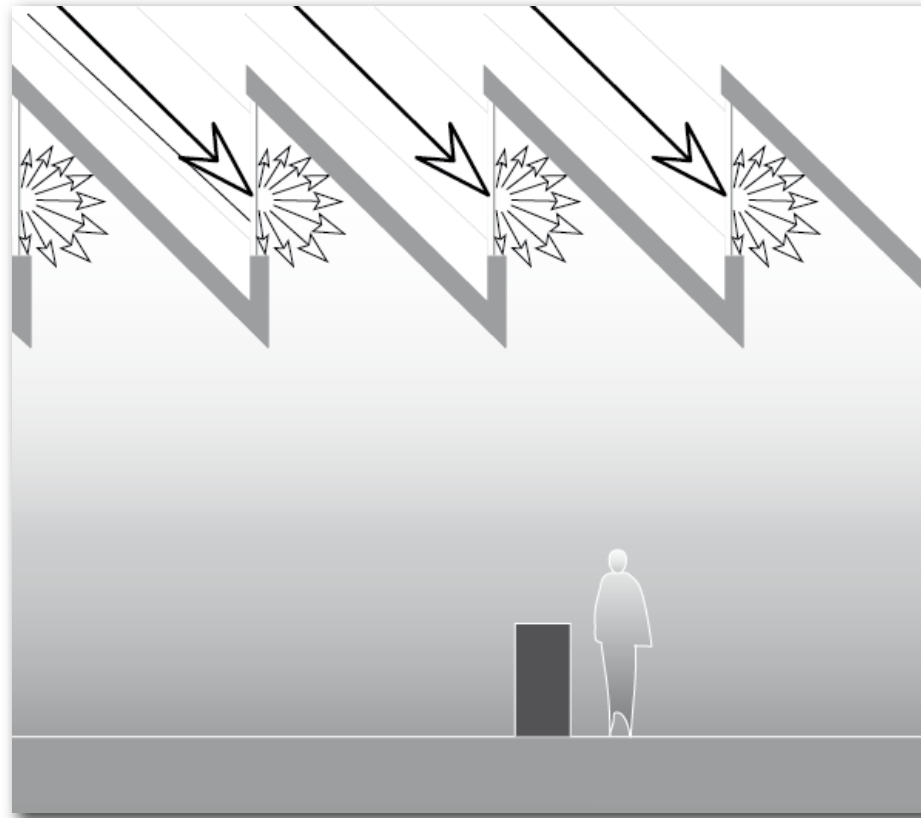
L'emploi de verres transparents peut s'avérer gênant pour les halles industrielles (éblouissement direct ou par réflexion)



Ouvertures en Toiture

- Vitrages opaques

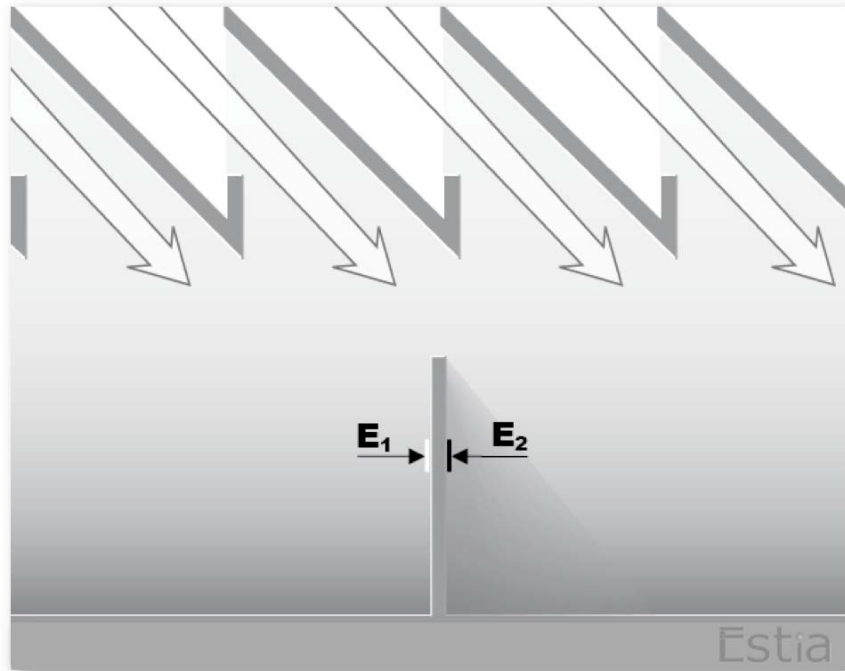
L'emploi de verres diffusants permet de diffuser le rayonnement direct. Le fait de masquer la vision du ciel n'entraîne pas une réelle perte d'information



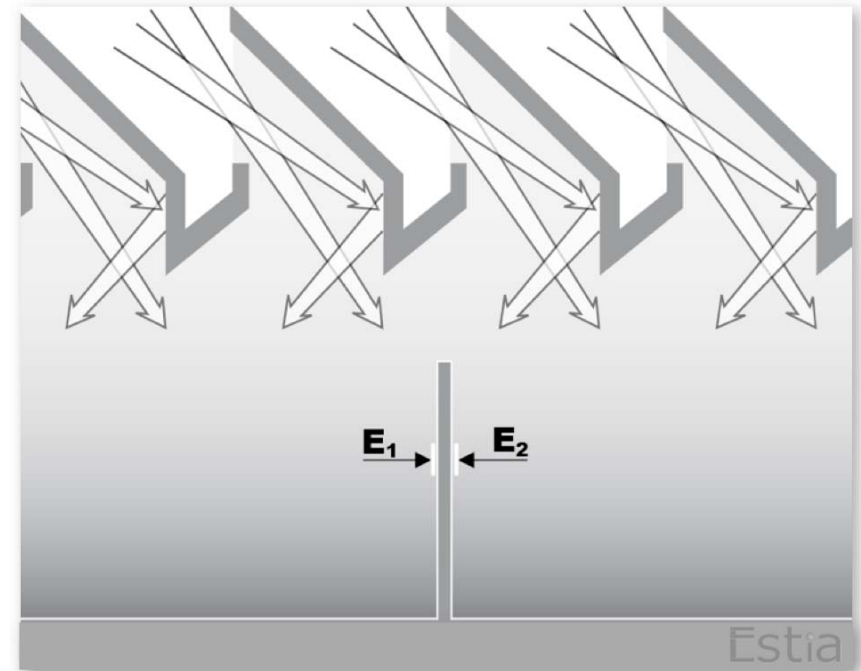
Ouvertures en Toiture

- Direction de la lumière

Il est possible d'équilibrer les directions de lumière en jouant sur la forme de l'ouverture.



$$E_1 \sim 3 \times E_2$$

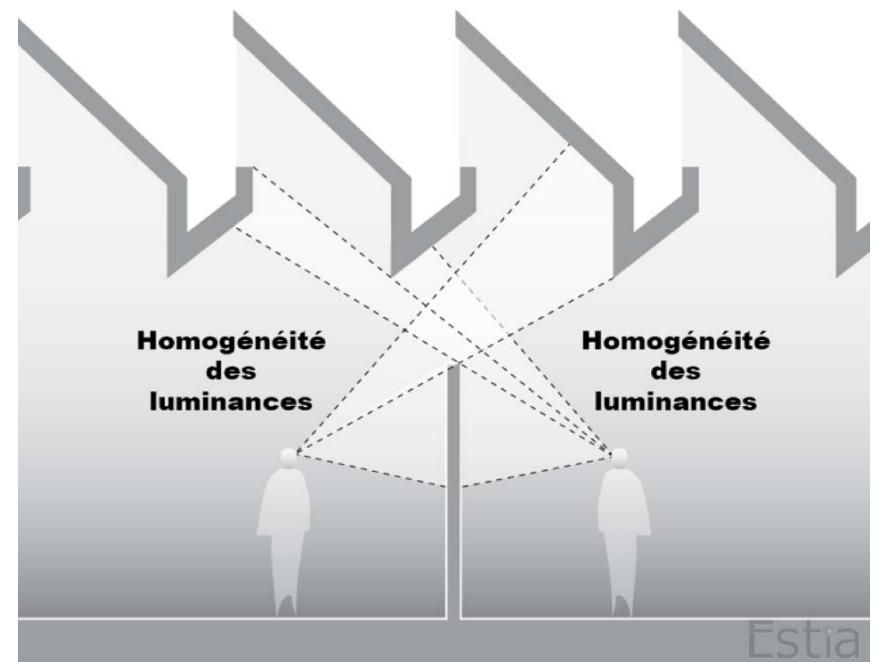
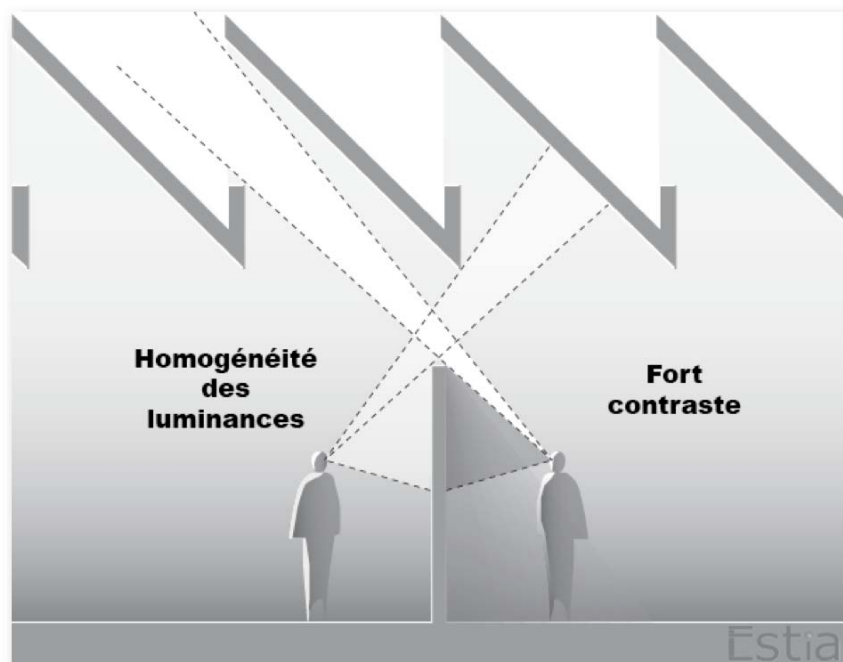


$$E_1 \sim E_2$$

Ouvertures en Toiture

- Direction de la lumière

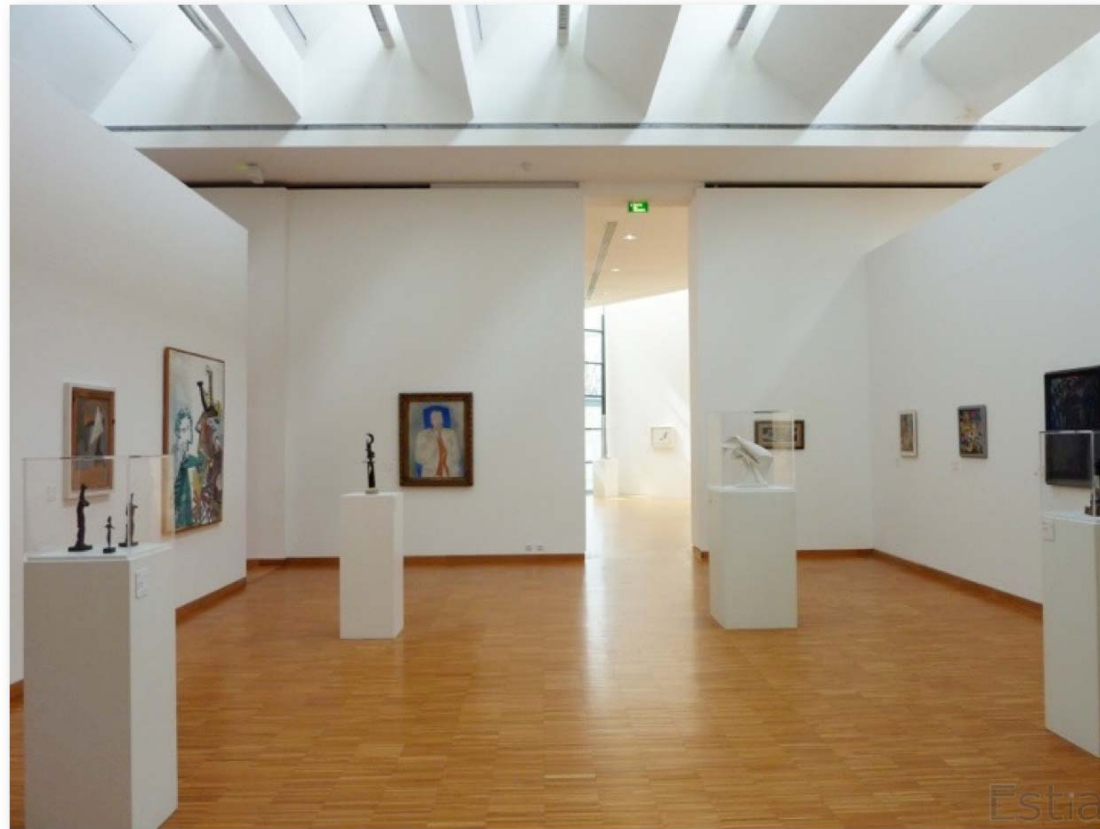
La forme de l'ouverture influe directement sur la qualité d'observation des utilisateurs



Ouvertures en Toiture

- Direction de la lumière

La forme de l'ouverture influe directement sur la qualité d'observation des utilisateurs

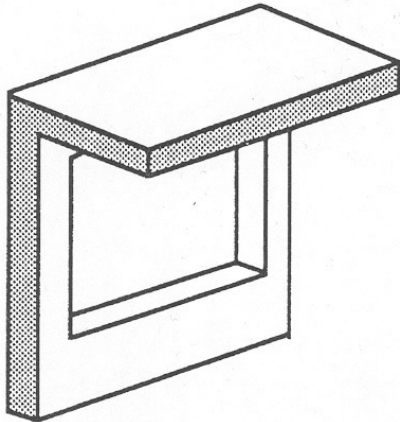


Musée des Beaux Arts de Grenoble, Salles du XXème siècle

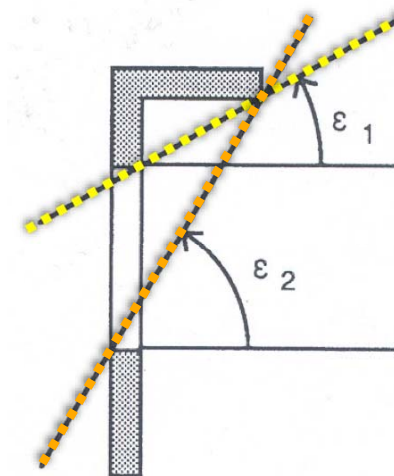
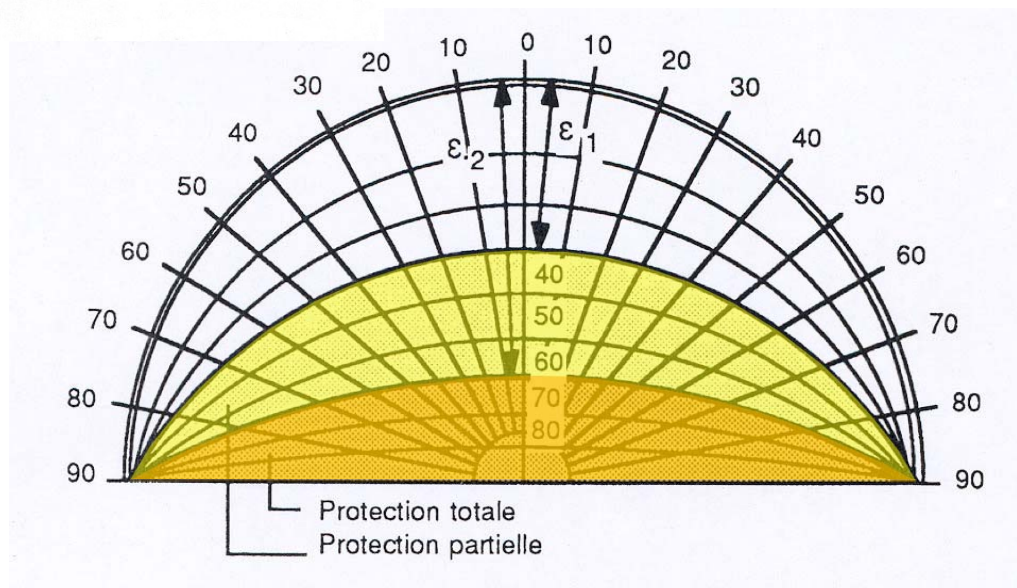
Protections solaires



Protections Fixes Horizontales

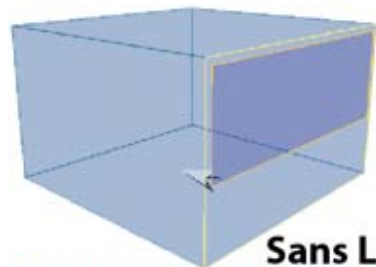


Adaptées à une orientation
sud ou proche du sud

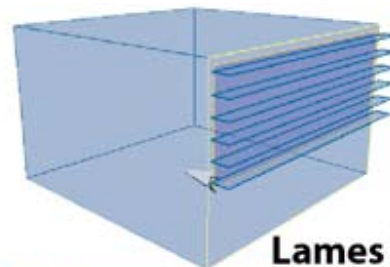


Protections Fixes Horizontales

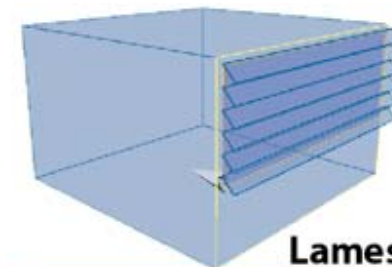
Systemes de lames



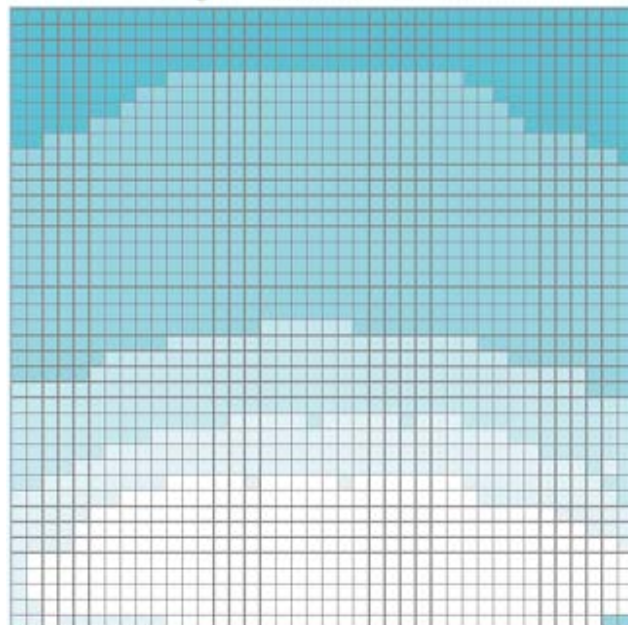
Sans Lames



Lames Horizontales



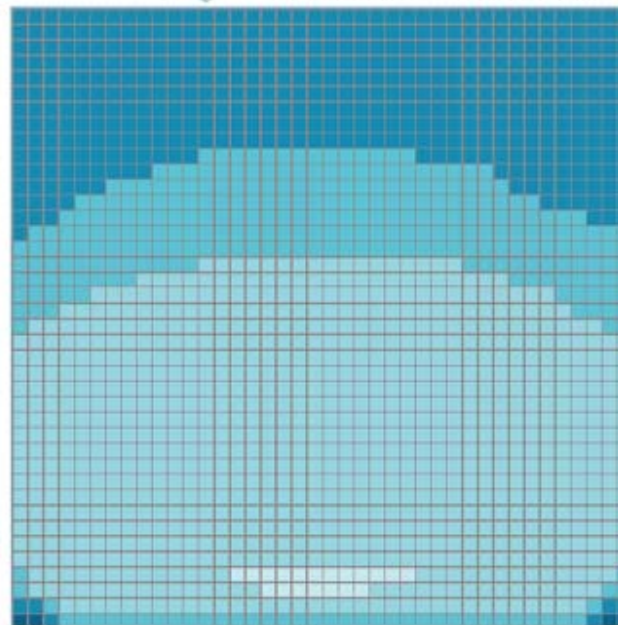
Lames Inclines 45°



FLJ > 1,5% sur 100% zone 1^{er} rang

FLJ > 2,0% sur 100% zone 1^{er} rang

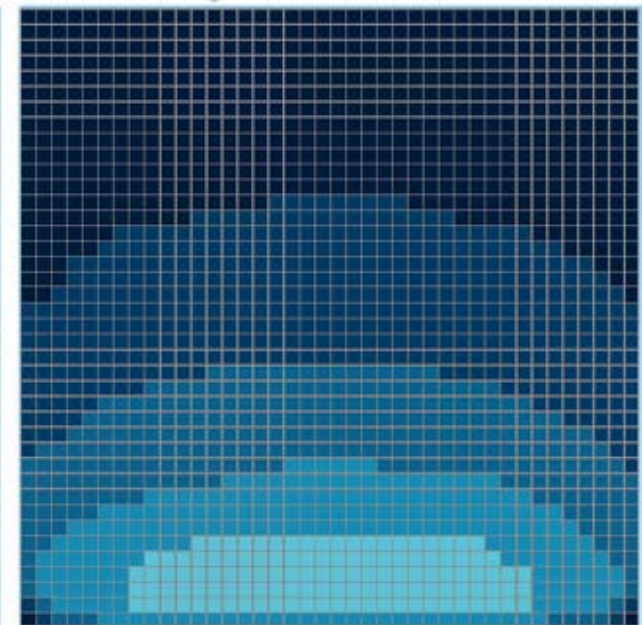
FLJ > 2,5% sur 96% zone 1^{er} rang



FLJ > 1,5% sur 99% zone 1^{er} rang

FLJ > 2,0% sur 81% zone 1^{er} rang

FLJ > 2,5% sur 61% zone 1^{er} rang



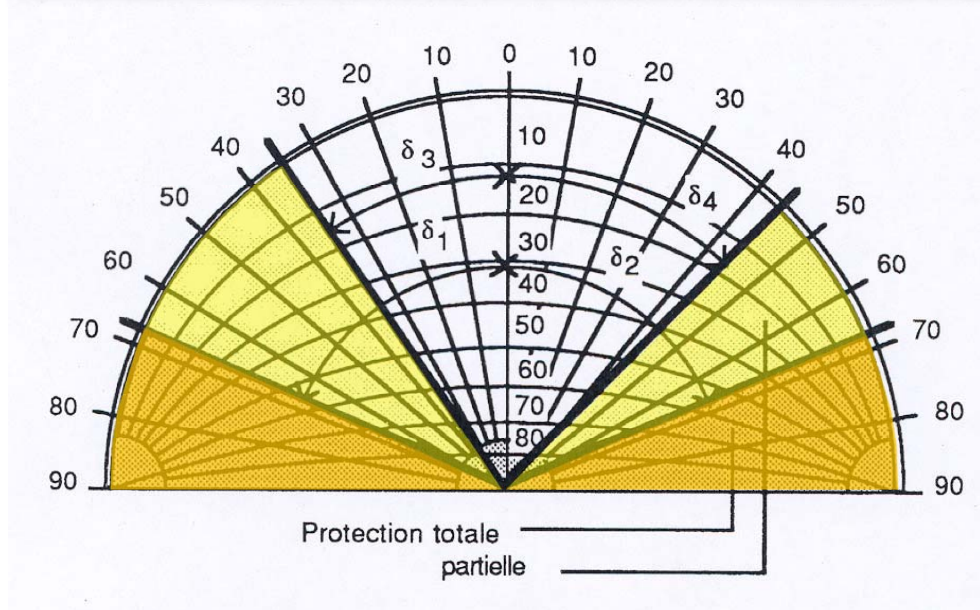
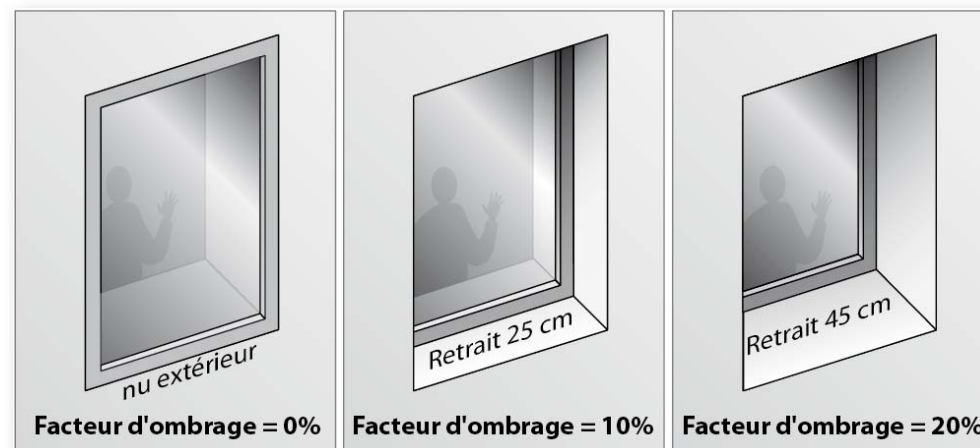
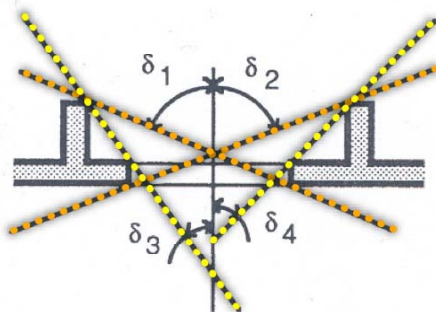
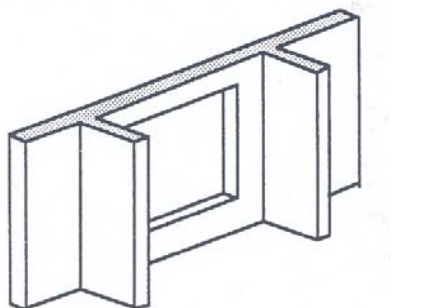
FLJ > 1,5% sur 21% zone 1^{er} rang

FLJ > 2,0% sur 9% zone 1^{er} rang

FLJ > 2,5% sur 0% zone 1^{er} rang

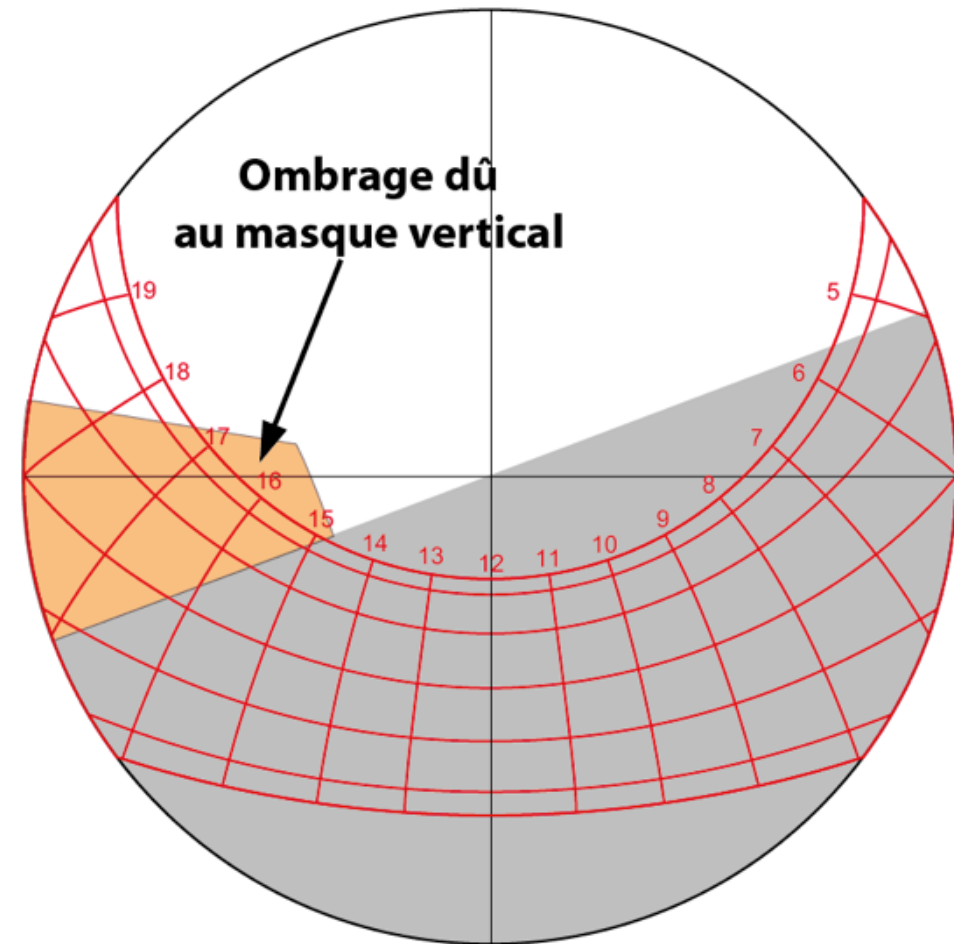
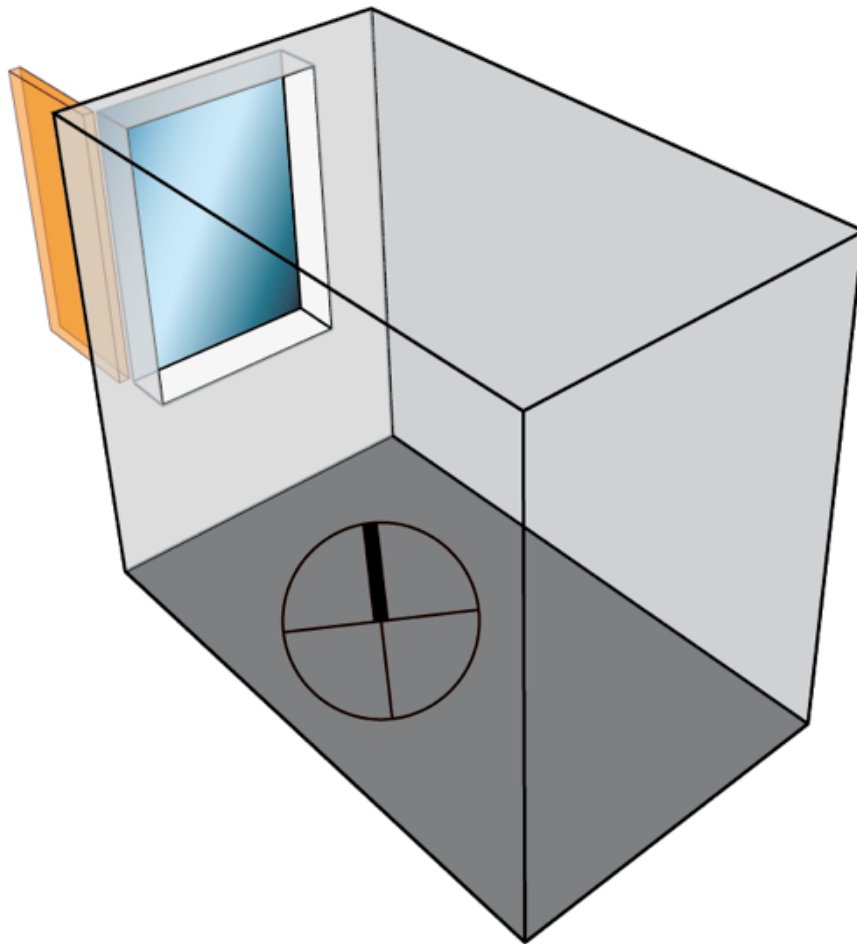
Protections Fixes Verticales

Réduction partielle des gains solaires à l'est et à l'ouest



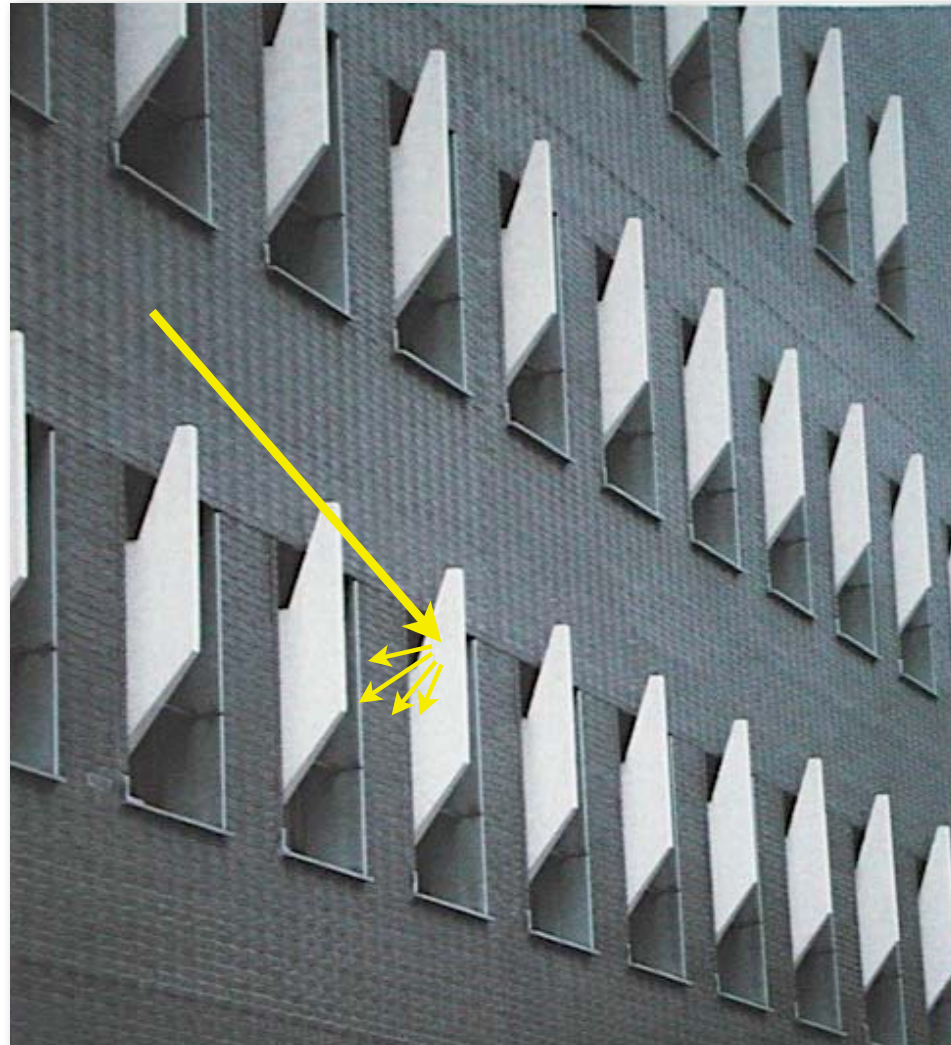
Protections Fixes Verticales

Orientation Nord-Ouest ou Nord-Est



Protections Fixes Verticales

Protection & Réflexion



Protections Mobiles

Surchauffe / Eblouissement



Protections Mobiles

Screens opaques



Coupure avec l'extérieur / Tout ou rien !

Protections Mobiles

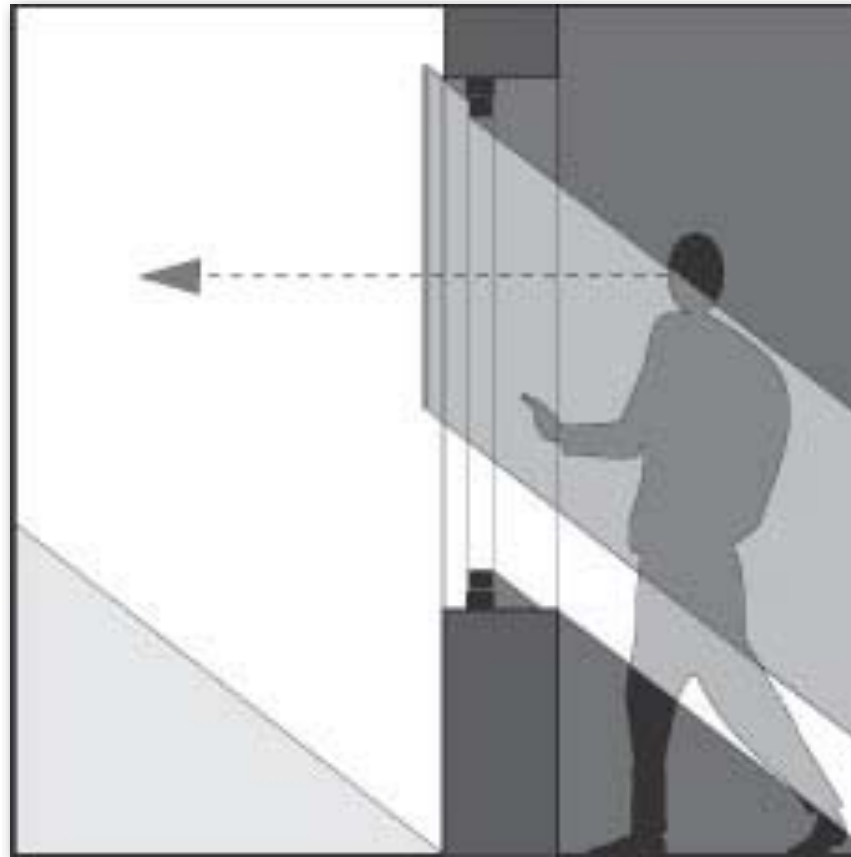
Screens diffusants



Coupure avec l'extérieur & risque d'éblouissement

Protections Mobiles

Screens semi-transparent



Risque d'éblouissement & de surchauffe

Protections Mobiles

Screens semi-transparentes



Risque d'éblouissement & de surchauffe

Protections Mobiles

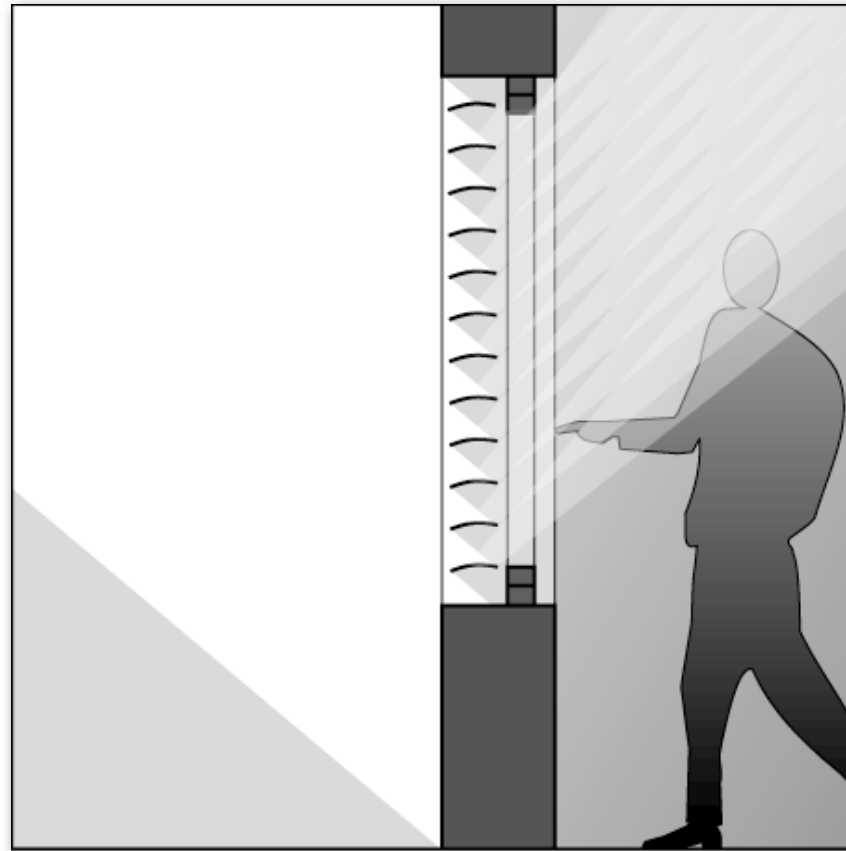
Screens semi-transparentes



Contrôle de l'éblouissement

Protections Mobiles

Stores à lames horizontales



Vues conservée / redirection de la lumière

Protections Mobiles

Stores à lames horizontales



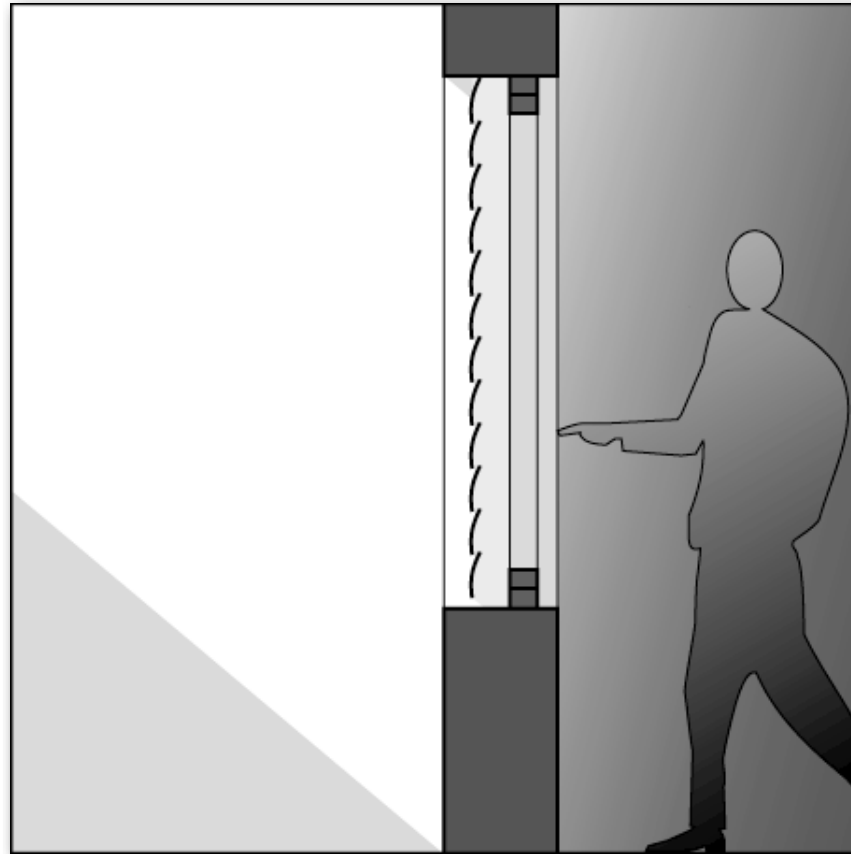
Protections Mobiles

Stores à lames horizontales



Protections Mobiles

Stores à lames horizontales



Dosage de la lumière entrante

Protections Mobiles

Stores à lames horizontales



Les leviers d'action : Gestion automatisée des protections Mobiles

Stores à lames horizontales





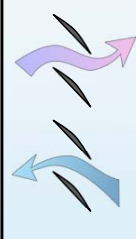

Exemple de scénario d'automatisation pour une orientation Est

| EST | Eté | Hiver |
|-------|-----|-------|
| Matin | | |
| Midi | | |
| Soir | | |

Les leviers d'action : Gestion automatisée des protections Mobiles

Stores à lames horizontales



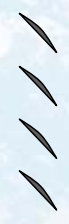



Exemple de scénario d'automatisation pour une orientation SUD

| SUD | Eté | | Hiver | |
|-------|--|---|--|---|
| Matin | Store Baissé, Lames horizontales |  | Store relevé |  |
| Midi | Store Baissé, Lames horizontales |  | Store Relevé |  |
| Soir | Store Baissé, Lames inclinées pour circulation d'air pendant la nuit (rafraîchissement passif) |  | Store baissé, Lames fermées pour réduire les pertes thermiques par rayonnement |  |

Les leviers d'action : Gestion automatisée des protections Mobiles

Stores à lames horizontales

Exemple de scénario d'automatisation pour une orientation Ouest

| OUEST | Eté | | Hiver | |
|-------|---|---|---|---|
| Matin | Store Relevé |  | Store relevé |  |
| Midi | Store Baissé Lames inclinées |  | Store Relevé |  |
| Soir | Store Baissé, Lames inclinées pour circulation d'air pendant la nuit (rafraîchissement passif) |  | Store baissé, Lames fermées pour réduire les pertes thermiques par rayonnement |  |