

## Partie 1

## Éclairage naturel

## Introduction générale

\* - La lumière pour la vie :

La lumière constitue un élément essentiel, générateur de vie sur terre. Elle nous influence du point de vue physiologique et psychologique, et exerce une action bienfaisante sur l'équilibre nerveux.

\* - La lumière naturelle :

On entend par lumière naturelle la lumière du jour. Son intensité et sa répartition spectrale varient selon la situation géographique, la saison, l'heure et les conditions atmosphériques.

\* - Avantages de l'éclairage naturel : sont :

- D'excellent rendement lumineux.
- D'excellent rendu des couleurs.
- La gratuité.

- Sources de lumière naturelle :\* La lumière du soleil, et la lumière du jour qui est rayonnée directement par le soleil, et qui entre par les fenêtres

- Elle donne du caractère à une pièce avec une lumière forte et des effets d'ombres.
- Elle pénètre plus loin dans la maison, surtout au printemps et en automne, lorsque le soleil se trouve très bas dans le ciel.
- Elle est également la lumière qui peut être tellement forte qu'on a besoin d'une protection.

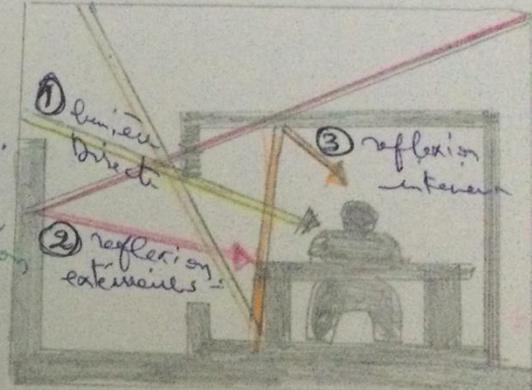
\* La lumière du ciel : est la partie de la lumière du jour qui est dispersée et redirigée par l'atmosphère, elle peut être mélangée avec la lumière du

Soleil, ou elle peut être seule.

- Elle donne une lumière douce et uniforme à la pièce, mais s'affaiblit en fonction de la distance jusqu'à la fenêtre.

- Type d'éclairage (figure ci-dessous)

- ① C'est l'éclairage provenant directement du soleil ou du ciel
- ② C'est l'éclairage provenant au point considéré par réflexion des rayons lumineux sur les surfaces extérieures.
- ③ C'est l'éclairage provenant au point considéré <sup>par réflexion</sup> des rayons lumineux sur les surfaces intérieures.



Chapitre 1 E@2 / Master 1.

Photométrie

1/ Grandeurs photométriques:

1.1. Notions générales:

1.1.1. - La vision: l'œil n'est sensible qu'à une toute petite partie des radiations électromagnétiques. Le visible (la lumière), c'est un spectre électromagnétique, dont les longueurs d'ondes ont le pouvoir d'exciter les cellules visuelles de l'œil.

$[\lambda = 0,38 \mu\text{m} \leq \text{visible} < \lambda = 0,78 \mu\text{m}]$  ( $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{m}$ )

R-gamma      Rayons X.      Ultra violet      lumière visible      infra-rouge      micro-ondes      Rayonnement Radio

grandes fréquences  
petites longueurs d'onde.

petite fréquences  
grandes longueurs d'onde.

1.2. principes de base: la perception visuelle naît dans l'œil, mais prend forme dans le cerveau:

- l'optique de l'œil permet la formation de l'image rétinienne, et la rétine transforme la lumière reçue en ensemble de stimulations capable d'être traitées par le cerveau.

①

les cellules de la rétine :

- \* les Cônes : réaction aux forts éclairements, vision de détail et sensibilité à la couleur. (rouge, vert, bleu).
- \* les bâtonnets : insensibles à la couleur, réactions aux faibles éclairements.
- \* L'œil n'est pas sensible dans le visible, de la même manière à toutes les longueurs d'ondes. En vision de jour, le maximum de sensibilité se situe à 0,555  $\mu\text{m}$  (jaune-vert).
- \* En réalité, il existe deux courbes de réponses, l'une pour des éclairements forts (dite **photopique**), l'autre pour des éclairements faibles : **scotopique**.

2.1. Le flux lumineux :

Le flux lumineux «  $\Phi$  » d'une source est l'évaluation, selon la sensibilité de l'œil, de la quantité de lumière rayonnée dans tout l'espace de cette source. Il s'exprime en **lumen (lm)**.

2.2. L'efficacité lumineuse :

«  $\eta$  » d'une source, est le quotient de son flux d'efficacité lumineuse

lumineux «  $\Phi$  » par sa puissance «  $P$  », elle s'exprime en  $lm/W$ .  $\eta = \frac{\Phi}{P} (lm/W)$

sources lumineuses	$\eta$ ( $lm/W$ )
- Rayt solaire Direct	52 à 97
Ciel Clair (sans soleil)	125 à 155
Ciel Clair (avec soleil)	105 à 115
Ciel Couvert	110 à 140.

2.3. L'intensité lumineuse: L'intensité lumineuse est le flux lumineux émis par unité d'angle solide dans une direction donnée, elle se mesure en candela (cd).

$$I = \Phi / \Omega \text{ (cd)}$$

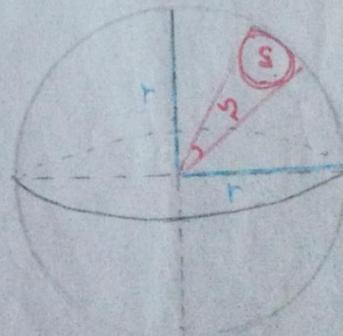
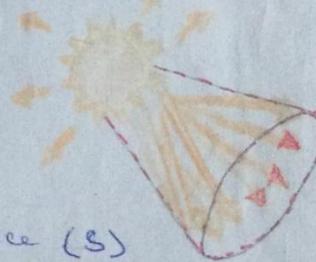
\* L'angle solide:

L'angle solide d'un cône est le rapport de la surface ( $S$ ) découpée sur une surface sphérique (ayant son centre au sommet de ce cône) au carré du rayon de la sphère, il s'exprime en stéradians (Sr).

$$\Omega = S / r^2 \text{ (Sr)}$$

\* Le stéradian est donc l'angle solide qui découpe une surface égale à  $1m^2$  sur une sphère d'un mètre de rayon. L'ensemble des angles solides dans une sphère représente.

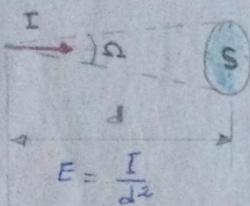
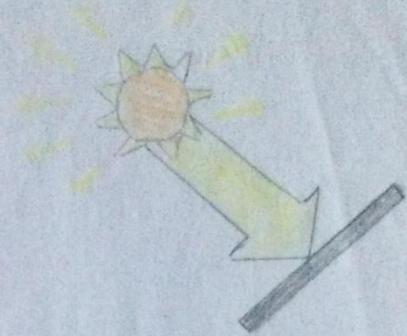
$$1 \text{ candéla} = 1 \text{ lumen} / \text{stéradian}$$



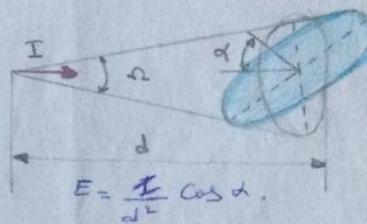
(3)

2.4. L'éclairement :

d'éclairement ( $E$ ) d'une surface est le rapport du flux lumineux reçu à l'aire de cette surface, son unité est le lux, équivalent à  $1 \text{ lm/m}^2$ .  $E = \Phi / S \text{ (lx)}$

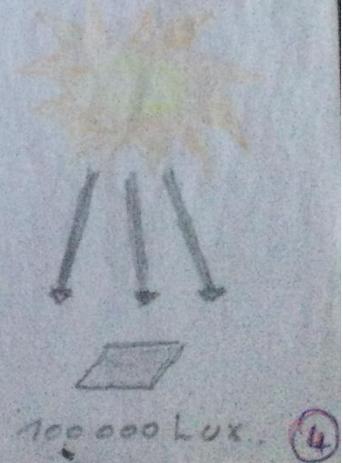
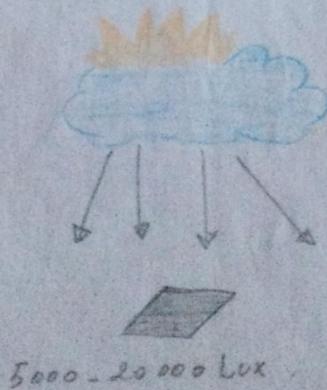
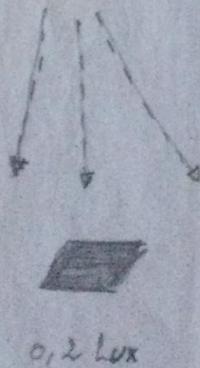


Eclairement d'une surface perpendiculaire aux rayons lumineux



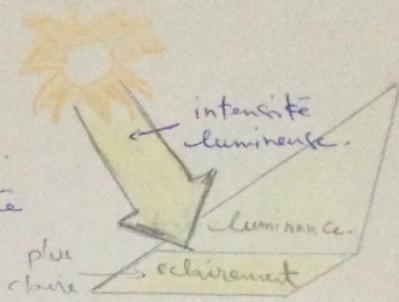
Eclairement d'une surface non perpendiculaire aux rayons lumineux

Source lumineuse	Eclairement (lx)
Pleine lune	0,2
Ciel couvert	5000 à 20000
Ciel clair (sans soleil)	7000 à 24000
Plein soleil d'été	100 000.



2.5. La luminance:

La luminance ( $L$ ) d'une source est le rapport entre l'intensité lumineuse émise dans une direction et la surface apparente de la source lumineuse dans la direction considérée. La luminance s'exprime en Candélas par mètre Carré ( $cd/m^2$ )



$L = I / S_{apparente}$

\* Remarque: la luminance est la seule grandeur photométrique réellement perçue par l'œil humain.

\* Loi de Lambert:

La loi de Lambert est valable pour des surfaces réfléchissantes de façon diffuse dans l'espace, elle exprime le lien entre l'éclairement d'une surface et la luminance provoquée par cet éclairement, ainsi lorsqu'une surface réfléchit de façon identique dans tout l'hémisphère visible, on a la relation:

Environnement	luminance ( $cd/m^2$ )
paysage nocturne (limite de la visibilité)	$10^{-3}$
Paysage par pleine lune	$10^{-2}$ à $10^{-1}$
Papier noir mat éclairé par 100 LUX	115
Parois intérieures éclairées	25 à 250
Papier blanc mat éclairé par 100 lux.	30
Paysage par ciel couvert	300 à 5000
Paysage " " clair	500 à 25000
Lune	2500
Papier blanc au soleil	$\approx 25000$
Soleil	$1,5 \cdot 10^9$

Relation entre la luminance et l'éclairement: une surface recevant un éclairement, réfléchit de la lumière et présente une luminance:

$L = \rho \frac{E}{\pi}$  - - - - la relation. (5)

$L$ : luminance apparente de la surface en  $cd/m^2$   
 $\rho$ : facteur de réflexion  
 $E$ : éclairement reçu en lx. /  $\pi = 3,14$

On peut dire aussi que la luminance caractérise le flux lumineux quittant une surface vers l'œil de l'observateur.

3- sensibilité de l'œil :

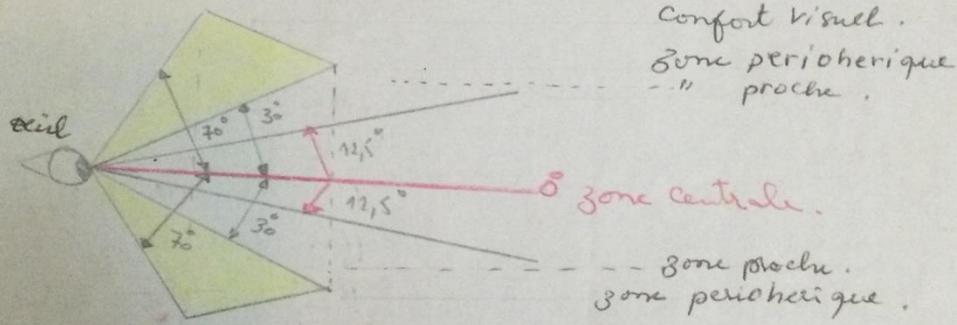
3.1. Vision photopique : Temps ensoleillé, vision nette, précise et colorée : Rôle des cellules à cônes.

3.2. Vision mésopique : Ciel couvert, vision plus ou moins floue.

3.3. Vision scotopique : Nuit, vision floue, non colorée : Rôle des cellules à bâtonnets.

4- le champ visuel :

\* p(+)

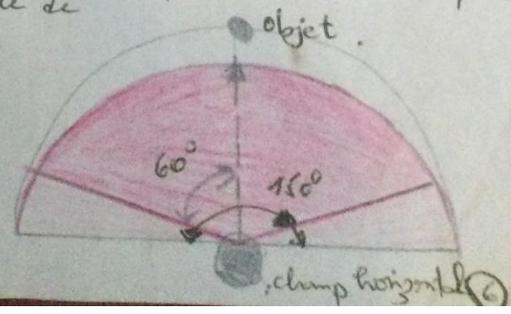


Accommodation (adaptation)

- \* entre 12 et 20cm : pas de vision nette.
- \* entre 20cm et 6m : vision nette avec accommodation.
- \* > 6m à l'infini : vision nette sans accommodation.

4.1 Définition du champ visuel :

le champ visuel est l'espace délimité par la perception spatiale de l'œil, sans bouger la tête, bien que le C.V. soit légèrement différents pour chaque individu. La portée verticale des yeux Centre au an angle d'environ 130°, elle est limitée vers le haut



par par les arcades sourcilières, et vers le bas par les joues, le champ horizontal total des yeux est environ 180° lorsqu'ils sont dirigés vers un objet fixe.

\* P7 La Capacité de l'œil à saisir une information visuelle dépend de sa position relative dans le champ visuel.

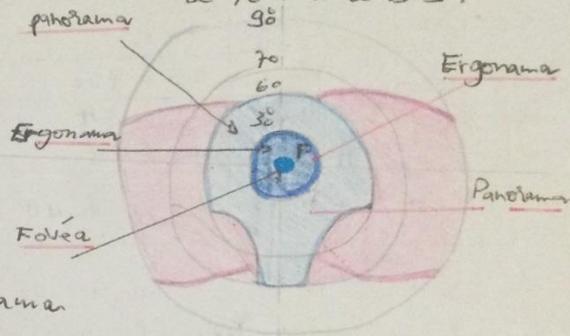
le champ visuel binoculaire se divise en trois zones :

\* le champ central de la fovéa : domaine de 1° à 2° d'ouverture centrée.

\* d'ergonama : Domaine de 2x30° d'ouverture.

\* 2x70 est l'angle vertical respectivement de 70° vers le haut et de 70° vers le bas.

le graphique ci contre, montre en bleu le champ visuel perçu simultanément par les 2 yeux et en rose clair le domaine vu par chaque œil séparément. Les cercles concentriques délimitent la fovéa, l'ergonama et le panorama.



- des radiations visibles dans le spectre électromagnétique :

Violet: 400nm, Bleu, vert: 500nm, Jaune: 600nm, Rouge: 700nm

\* de Contraste: Différence d'apparence entre deux parties du champ visuel vues simultanément ou successivement.

$$C = \frac{L_2 - L_1}{L_1}$$

$L_1$ : Luminance du fond.

$L_2$ : Luminance de l'objet.

(Variation de l'ombre et de la lumière de l'objet)

\* de la température de Couleur: La température de Couleur d'une source lumineuse est la t° comparée à celle d'un corps noir qui émet une lumière de même teinte que celle de la source lumineuse. Elle s'exprime en Kelvin (K). Elle caractérise l'ambiance lumineuse donnée au local. Sa teinte est dite blanche chaude si la t° de couleur inférieure à 3500 K. elle est dite blanche froide (7)

si la  $T^{\circ}$  de couleur est supérieure à 4500 K, et elle dite blanche neutre si la  $T^{\circ}$  de couleur est intermédiaire

7. d'indice de rendu des couleurs (IRC) : 3500 <  $T^{\circ}$  < 4500 K

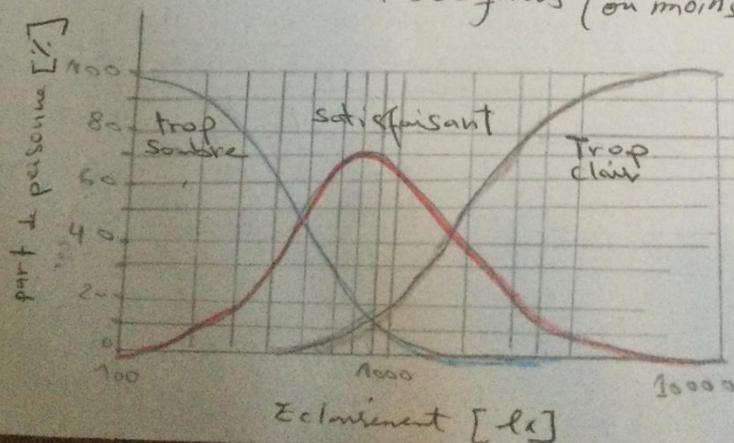
d'indice de rendu des couleurs décrit comment, par rapport au cas idéal, une couleur éclairée par une source lumineuse est perçue. trois causes peuvent conduire à un rendu de couleur inférieur à 100 :

- les sources d'éclairage artificiel,
- des fenêtres à verres teintés,
- des parois de couleurs intenses.

Classe	Prognoses de rendu	IRC
1	Très bonnes	85 à 100
2	bonnes	70 à 84
3	suffisantes	40 à 69
4	Médiocre	moins de 40

8. Confort visuel : avoir un confort visuel pour l'homme est bien plus difficile que le confort thermique, car les différences entre individus sont très grandes, statistiquement, il n'est pas possible de satisfaire simultanément plus de 75% des personnes (95% pour le confort thermique) \*

- Confort visuel optimal : 75% des personnes sont satisfaites
- Confort visuel : 60% et plus des personnes sont satisfaites
- Inconfort visuel : plus de 75% des personnes sont insatisfaites (ou moins de 25% satisfaites)



pourcentage de personnes satisfaites en fonction de l'éclairiment dans des conditions de contrastes excellentes et une activité à exigences moyennes. (8)

$$(FLJ)_{moy} = \frac{S_f \times T_L \times a}{(S_t \times (1 - R_L))}$$

- $S_f$ : surface nette de vitrage. (ouverture de baies moins 10% pour les châssis).
- $T_L$ : facteur de transmission lumineuse du vitrage, dont on déduit 10% pour saleté.
- $a$ : angle du ciel visible depuis la fenêtre, exprimé en degrés. par exemple, il vaut:  $90^\circ$  si aucun masque n'est créé par des bâtiments ou l'environnement en face de la fenêtre.
- $60^\circ$ : si un bâtiment crée un ombrage entre le sol et les 30<sup>ies</sup> degrés
- $S_t$ : surface totale de toutes les parois du local, y compris celle des vitrages.
- $R_L$ : facteur de réflexion moyen des parois du local. (il est égal à 0,5 par défaut). \*\*

10. Autonomie en lumière le jour: le DA (Daylight Autonomy) est défini comme étant le pourcentage des heures occupées par un, ou le niveau minimum d'éclairement requis peut être assuré par la seule lumière naturelle. Un objectif raisonnable est d'arriver à un temps d'utilisation de l'éclairage naturel d'au moins 50-60% pour un horaire de 8h à 18h. Deux types d'autonomie en éclairage naturel existent:

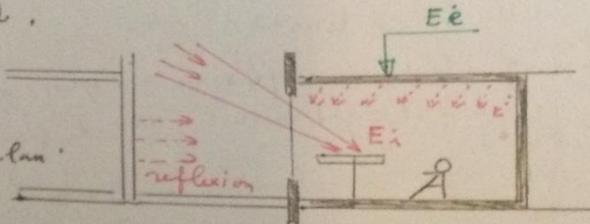
10.1. Autonomie statique: elle est basée sur l'évaluation de FLJ au point considéré et tient compte des conditions de ciel context. (ni le ciel clair, ni intermédiaire)

10.2. Autonomie Dynamique: elle est basée sur la prédiction de l'éclairement au pt considéré, à chaque pas de temps pour l'année entière. L'éclairement est donc prédit à partir d'un fichier météo.

11. Coefficient de réflexion: Des revêtements intérieurs à haut pouvoir de réflexion de la lumière permettent:  
- d'uniformiser l'éclairage naturel dans un local, donc améliorer le confort visuel (Diminution des contrastes)

8. Facteur de lumière du jour: en éclairage naturel, l'exigence d'éclairémet peut se traduire en valeur de...  
 - facteur de lumière du jour note: (FLJ). Ce facteur est le rapport de l'éclairémet naturel intérieur reçu en un pt (généralement le plan de travail ou le niveau du sol) à l'éclairémet extérieur simultané sur (mesure simultanément à l'extérieur) sur une surface horizontale en site parfaitement dégagé, il s'exprime en (%).  
 - Dans les conditions de ciel couvert (ciel normalisé par la Commission Internationale de l'Éclairage), les valeurs du facteur de lumière du jour sont indépendantes de l'orientation des bords vitrés, de la saison et de l'heure du jour.  
 - la valeur de (FLJ) permet de caractériser l'ambiance lumineuse d'un local.

- $E_e$ : éclairémet horizontal à l'extérieur par ciel couvert
- $E_i$ : éclairémet sur le plan de travail à l'intérieur



$$FLJ = \frac{E_i}{E_e} \times 100$$

FLJ	< 1%	1 à 2%	2 à 4%	4 à 7%	7 à 12%	> 12%
② impression de clarté ambiance lumineuse perçue	Sombre à peu éclairé		peu éclairé à lumineux (clair)		clair à très clair (lumineux)	
① appréciation	très faible	faible	Moyen Modeste	Moyen	Élevé	très élevé
③ zone considérée	zone éloignée des fenêtres 3 à 4 fois la hauteur de la fenêtre		* distance à la fenêtre		A proximité des fenêtres, sous des lanternes.	
④ Ambiance avec l'extérieur	Refermé sur lui-même, isolé.		ouvert sur l'extérieur		dangereusement ouvert, lié au monde extérieur	
⑤ confort de travail	Non adapté pour un travail permanent		adapté à moins de 50% des heures de travail		adapté à plus de 50% des heures de travail, mais risque d'éblouissement	

9. Le facteur de luminosité du jour moyen: il existe des formules approchées pour estimer le facteur de luminosité du jour moyen d'un local. on donne: ⑨

entre les zones claires et les zones sombres.)  
 - D'éclairer le fond du local par multireflexion sur les parois et le plafond. Entre un local clair et un local sombre, l'éclairé du fond du local (à plus de 4m de la façade en éclairage monolatéral) est doublé \*

Eblouissement :

La source principale d'éblouissement dans un local éclairé naturellement est la fenêtre. Il existe plusieurs moyens pour diminuer et éblouissement. \*

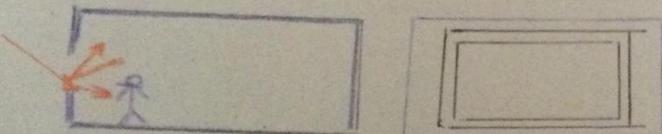
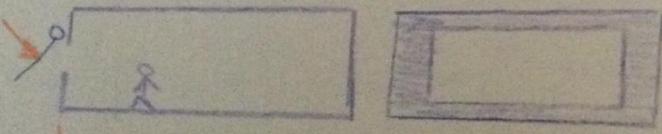
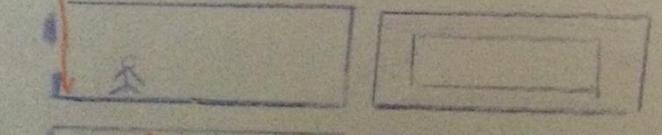
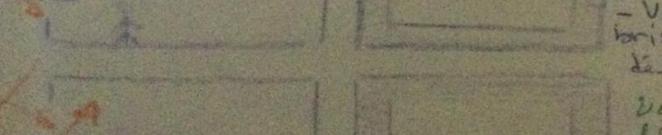
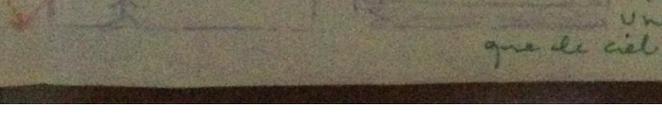
\* Coefficients de réflexion recommandés :

- Plafond : 70-90% - Surface de travail : 35-50% fin.
- Murs : 40-60% - Sol : 30-50% - Allège : 40-60% \*

\* Eblouissement (site)

Un autre moyen est de disposer de revêtements clairs qui atténuent les contrastes dans une pièce.

- Moyens de Diminution de l'éblouissement liés aux fenêtres

	Diminution de contraste mur-huissier - avec un cadre clair (haut coeff de réflexion)
	Voiler le ciel par une protection solaire ou un rideau
	Diminuer le contraste mur-fenêtre en éclairant le mur contenant la fenêtre
	Diminuer le contraste mur-fenêtre en augmentant la part directe de l'éclairage naturel (avec un local très clair) *
	- Voile en partie local en assemblant en façade par un élasto-reflecteur. *
	Voiler en partie en dirigeant à l'extérieur des éléments ayant une luminosité plus faible que le ciel (struvas, corniches, etc.)