

Dossier thématique

Ambiances lumineuses & confort visuel



Définition du confort visuel

Optimisation des ambiances lumineuses

Retours d'expériences et enseignements

Partenariat AQC

Réseau Breton Bâtiment Durable

Ce rapport est le fruit d'une collaboration entre l'AQC et le Réseau Breton Bâtiment Durable. Il a été réalisé grâce au soutien financier du programme PACTE et de l'ADEME.

Les informations contenues dans la troisième partie de ce dossier proviennent des retours d'expériences collectés via le Dispositif REX Bâtiments performants conçu et développé par l'Agence Qualité Construction.

Il a pour but de présenter 12 enseignements majeurs sur la gestion des ambiances lumineuses.

Le choix de ces enseignements s'est fait en fonction de la récurrence des constats observés au sein de l'échantillon, de leur gravité et de l'appréciation des spécialistes du sujet qui ont participé à ce travail, Adèle VAUTIER (Menguy Architectes) et Yannick SUTTER (Lumibien)

SOMMAIRE

AMBIANCES LUMINEUSES ET CONFORT VISUEL : QUELS ENJEUX DANS LES BÂTIMENTS PERFORMANTS ?	5
A. LE CONFORT VISUEL	7
A.1. Notions de base	7
A.1.1. La lumière naturelle	7
A.1.2. Grandeurs physiques	8
A.1.3. Ambiances lumineuses et bien-être	9
A.2. Eclairage naturel	11
A.2.1. Contexte climatique et urbain	11
A.2.2. Les outils de calcul	12
A.2.3. Vue sur l'extérieur	13
A.3. Eclairage artificiel	14
A.3.1. Les types d'éclairage	14
A.3.2. Les sources de lumière	15
A.3.2.1. Les lampes et luminaires	15
A.3.2.2. Les principales caractéristiques	16
A.3.2.3. Le dimensionnement	16
A.3.3. La température de couleur	17
A.3.4. Les consommations	17
A.3.5. Les systèmes de commande et de gestion	19
A.4. Réglementation, normes et certifications	19
A.4.1. Obligations réglementaires	19
A.4.2. Normes	21
A.4.3. Certifications	22
A.4.3.1. Démarche HQE	22
A.4.3.2. BREEAM	24
A.4.3.3. LEED	25
B. OPTIMISER LES AMBIANCES LUMINEUSES	27
B.1. Composer avec l'environnement extérieur	27
B.1.1. Les masques	27
B.1.2. Les orientations	28
B.1.3. La forme du bâtiment	29
B.2. Capter la lumière	30
B.2.1. Les ouvertures	30
B.2.2. Les protections solaires	30
B.2.2.1. Les protections fixe	30
B.2.2.2. Les protections mobiles	31
B.2.3. La distribution de la lumière	32
B.3. Rénover sans oublier la lumière	33
B.3.1. Elaborer un projet	33
B.3.2. Comparatif d'amortissement	34

C. RETOURS D'EXPERIENCES ET ENSEIGNEMENTS	35
1- Absence de prise en compte de l'éblouissement	36
2- Conséquences du traitement inadapté des surchauffes d'été sur le confort visuel	37
3- Matériels inadaptés à l'usage	38
4- Traitement du confort thermique d'hiver au détriment du confort visuel	39
5- Matériaux non conformes au CCTP	40
6- Difficulté de réglage des détecteurs de mouvement / présence couplé à un interrupteur crépusculaire	41
7- Absence de sectorisation et/ou gradation lumineuse	42
8- Manque d'homogénéité des équipements mis en place	43
9- Absence de prise en compte de l'entretien / maintenance	44
10- Défaut de paramétrage du pilotage des stores extérieurs	45
11- Absence de prise en compte de l'entretien / maintenance des menuiseries	46
12- Mauvais dimensionnement des brise-soleil fixes	47
CONCLUSION	48

AMBIANCES LUMINEUSES ET CONFORT VISUEL : QUELS ENJEUX DANS LES BÂTIMENTS PERFORMANTS ?

Parmi tous ses sens, l'être humain est beaucoup plus attentif et confiant en l'un d'eux : la vue. La bonne prise en compte du confort visuel de l'utilisateur au sein d'un bâtiment est une préoccupation qui, si elle est plus systématiquement et mieux prise en compte, doit cependant être appréhendée conjointement avec le confort thermique et la performance énergétique.

L'ambiance visuelle d'un espace est réussie lorsque nous pouvons voir les objets nettement et sans gêne. Cette ambiance lumineuse est caractérisée par des paramètres quantitatifs, les besoins, et qualitatifs, le confort et l'agrément.

Pour les aspects quantitatifs, des valeurs d'éclairage minimales nécessaires à chaque activité sont définies dans les normes et recommandations (Code du travail, EN 12464-1...). Quant aux aspects qualitatifs, ils sont définis par deux paramètres : le confort visuel et l'agrément. Une ambiance lumineuse confortable est ainsi la conséquence de l'absence d'éblouissement et d'inconfort. Toutes ces notions définissent le cadre de l'étude et permettent de caractériser le sujet traité : le confort visuel et les ambiances lumineuses.

Si la réglementation n'aborde pas directement la question de l'éclairage naturel, l'éclairage intérieur des bâtiments relève de textes traitant de la sécurité ou des économies d'énergies. L'ensemble des référentiels de certification environnementale prennent en considération le confort visuel, ils utilisent généralement des méthodes d'évaluation qui leur sont propres.

L'optimisation des ambiances lumineuses passe avant tout par un travail de conception dédié qui saura tenir compte de l'environnement extérieur du bâtiment. Chacune de ses orientations sera à considérer en fonction de l'usage et des contraintes thermiques. Sa forme va généralement influencer sur sa capacité à capter et distribuer la lumière. Il s'agira souvent d'une affaire de compromis et des dispositifs de protection et de distribution pourront être mis en œuvre dans la plupart des situations.

Les exigences environnementales actuelles et à venir, nous forcent à améliorer considérablement les performances des constructions, tant quantitativement que qualitativement. L'atteinte de ces performances passe par la prise en compte de nombreuses thématiques ayant un impact les unes sur les autres.

Comment le confort visuel est-il appréhendé concrètement et comment est-il impacté par la recherche de performances (énergétiques, environnementales...) ?

Une enquête de terrain, basée sur des retours d'expériences bretons, nous a permis de mettre en évidence des dysfonctionnements récurrents et certaines bonnes pratiques mises en place pour y remédier. L'étude a été réalisée sur tous types de bâtiments (neuf, rénové, logement, tertiaire...) et traite aussi bien de l'apport de lumière naturelle que des systèmes d'éclairage artificiel.

A. LE CONFORT VISUEL

A.1. Notions de base

A.1.1. La lumière naturelle

La lumière naturelle qui éclaire notre planète est celle qui nous provient du soleil. Le soleil émet des ondes électromagnétiques dont le spectre s'étend des ondes radio aux

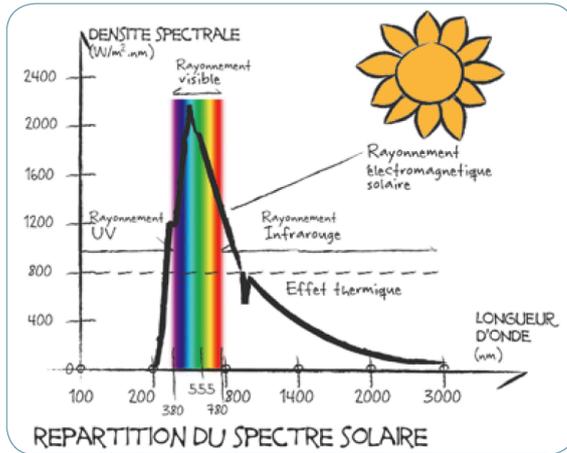


Figure 1 - Répartition du spectre solaire
©L'éclairage naturel – Les Guides BIO-TECH

rayons gamma, en passant par la lumière visible. Ce rayonnement transporte l'énergie solaire, indispensable à toute vie terrestre.

Au contact de l'atmosphère, une partie du rayonnement solaire est réfléchi dans l'espace, une partie est absorbée par l'atmosphère et les nuages et une partie est transmise de manière directe (si le ciel est dégagé) et de manière indirecte (flux diffus issu de nombreuses réflexions dans l'atmosphère).

La partie visible du spectre représente environ la moitié de l'énergie reçue à la surface de la planète. La partie non visible se décompose entre infra-rouge et ultra-violet. Lorsqu'il atteint la surface de la Terre, en fonction de l'albédo de la surface frappée, une partie plus ou moins

importante du rayonnement est réfléchi. L'autre partie de ce rayonnement est absorbée par la surface de la Terre pour être convertie en chaleur ou par les êtres vivants, en particulier les végétaux pour permettre la photosynthèse.

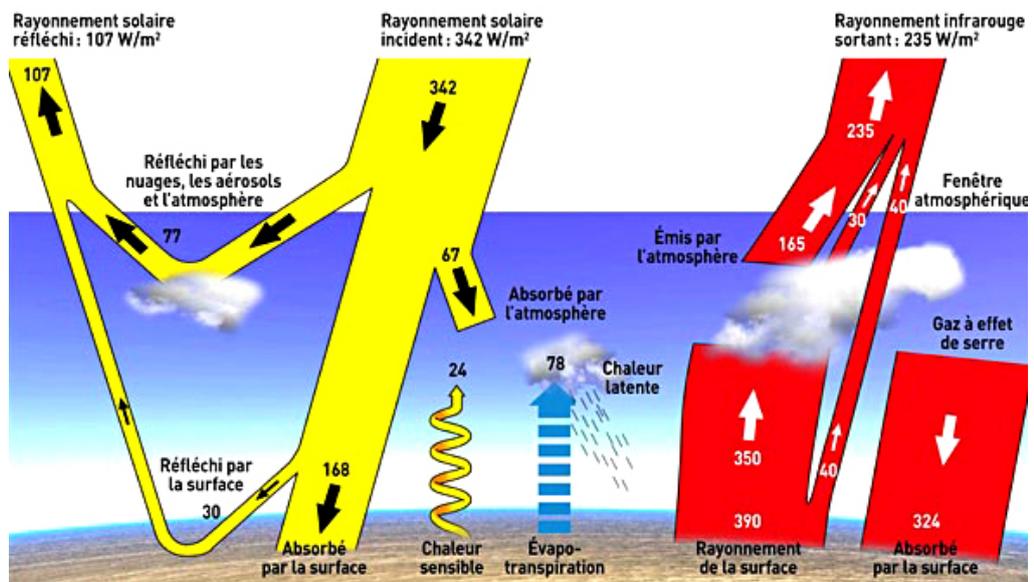


Figure 2 - Bilan énergétique du rayonnement solaire et effet de serre

A.1.2. Grandeurs physiques

La lumière peut être définie par plusieurs grandeurs physiques qui caractérisent la source de lumière, sa transmission et la réception par un support. Les principales grandeurs sont décrites dans le tableau ci-dessous.

Grandeur	Unités	Définition
Flux lumineux	Lumen (lm)	Puissance lumineuse émise par une source dans toutes les directions
Intensité lumineuse	Candéla (cd)	Flux lumineux émis par une source ponctuelle dans une direction donnée 1 Candela correspond à l'intensité lumineuse produite par 1 bougie
Luminance	cd/m ²	Intensité lumineuse d'une source dans une direction donnée, divisée par l'aire apparente de cette source dans cette même direction. Elle sert à évaluer les risques d'éblouissement. La luminance du soleil peut dépasser 10⁹ cd/m², une source devient éblouissante en éclairage naturel à partir de 2 000 cd/m². En pratique, les mesures de luminance étant difficiles et coûteuses et dans un but de simplification, les recommandations relatives à ces luminances sont formulées directement en valeur d'ÉCLAIREMENT (d'où l'utilisation du luxmètre).
Eclairement lumineux	Lux (lx)	Flux lumineux reçu par unité de surface. 1 lx = 1 lm/m ² 20 lux correspond au seuil de perception, les autres valeurs usuelles sont généralement calculées en utilisant un facteur de 1,5 et représentant la plus petite différence significative entre 2 niveaux d'éclairement. En ciel clair à midi en été, l'éclairement horizontal peut atteindre 100 000 lux.

Figure 3 – Définitions des grandeurs physiques les plus courantes

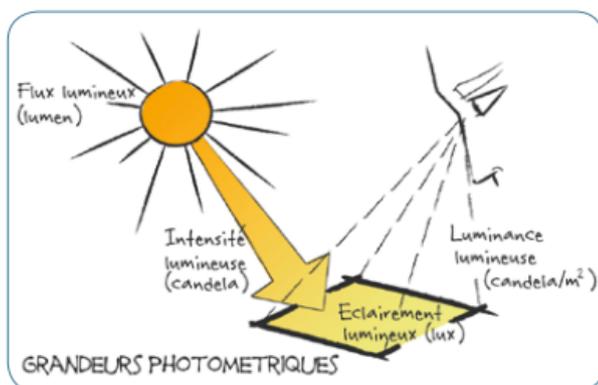


Figure 4 - Caractéristiques physiques de la lumière
©L'éclairage naturel – Les Guides BIO-TECH

Avec la diversification des sources de lumière artificielle dans le bâtiment, la notion de couleur joue un rôle prépondérant, ce qui conduit à introduire la notion de **température de couleur** qui s'exprime en kelvins (K). Elle est liée à l'impression visuelle et varie des teintes chaudes à dominante orangée (2 500 K, soleil à l'horizon) aux teintes froides d'un aspect bleuté (> 5 300 K, soleil au zénith). Les teintes neutres se situent autour de 4 000 K. Dans une étude menée par Zumtobel Research¹ auprès d'usagers de bureaux en Europe, une nette préférence a été exprimée pour les températures situées entre 4 000 K et 7 000 K.

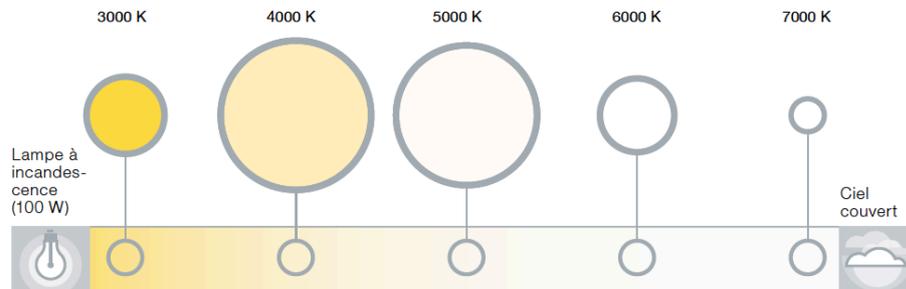


Figure 5 - Température de couleur ©Zumtobel

A.1.3. Ambiances lumineuses¹ et bien-être

L'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) souligne le lien qui existe entre qualité de l'éclairage et bien-être : « Le recours à la lumière naturelle pour l'éclairage des locaux de travail et la possibilité de vue sur l'extérieur pour ceux qui y travaillent, tendent à procurer l'environnement le plus approprié à un bon équilibre physiologique et psychologique des individus. »

L'ambiance lumineuse d'un lieu est liée à la manière dont un individu sera affecté par l'ensemble des aspects de son environnement lumineux. Elle peut se décomposer suivant trois composantes² :

- les besoins,
- le confort,
- l'agrément.

L'ambiance lumineuse d'un espace sera affectée dès lors qu'une moindre attention sera portée à l'un de ces trois paramètres.

L'extrait de la **norme EN 12464-1** reproduit ci-dessous définit cette notion d'ambiance lumineuse :

Pour la réalisation d'un bon éclairage, il est essentiel, qu'en plus de l'éclairement requis, les besoins qualitatifs et quantitatifs soient satisfaits. Les exigences relatives à l'éclairage sont déterminées par la satisfaction de trois besoins humains fondamentaux :

- le confort visuel : la sensation de bien-être ressentie par le personnel contribue d'une certaine façon à un meilleur niveau de productivité et à une meilleure qualité de travail,

¹ Qualité de la lumière perçue au bureau. Phase 1 / Evaluation au niveau européen – Zumtobel Research

¹ L'éclairage naturel – Les Guides BIO-TECH pp. 19 à 24

² Le Moniteur, 2007

- la performance visuelle : le personnel est en mesure d'exécuter des tâches visuelles de qualité, même dans des circonstances difficiles et pendant de plus longues périodes,
- la sécurité.

Les paramètres les plus importants qui déterminent une ambiance lumineuse en ce qui concerne, la lumière artificielle et la lumière naturelle sont :

- la distribution des luminances,
- l'éclairage,
- la direction de la lumière et l'éclairage de l'espace intérieur,
- la variabilité de la lumière (niveaux et couleur de la lumière),
- le rendu des couleurs et la couleur apparente de la lumière,
- l'éblouissement,
- le papillotement.

En plus de l'éclairage, d'autres paramètres d'ergonomie visuelle influencent la performance visuelle des opérateurs, comme :

- les propriétés intrinsèques de la tâche (la taille, la forme, la position, la couleur et la réflexion des détails et du fond),
- la capacité ophtalmique de l'opérateur (acuité visuelle, perception de la profondeur, perception de la couleur),
- une ambiance lumineuse conçue et améliorée de manière intentionnelle, un éclairage non éblouissant, un bon rendu des couleurs, des marques de contraste élevées, des systèmes de guidage optiques et tactiles peuvent améliorer la visibilité de même que la perception de la direction et la localisation (voir lignes directrices de la CIE qui donne les conditions de visibilité et les prescriptions d'éclairage pour l'accessibilité des personnes âgées et des personnes avec un handicap).

Une attention particulière à ces facteurs peut améliorer la performance visuelle sans qu'il y ait besoin d'augmenter l'éclairage.

Les besoins :

Les besoins sont liés à la quantité de lumière nécessaire pour effectuer une activité dans de bonnes conditions lumineuses. Ces besoins sont directement liés à la nature de l'activité et donc à l'usage du local considéré. Ces besoins seront, par exemple, définis à hauteur d'un bureau ou du sol. On parle alors de « plan de travail » ou de « plan utile ». La quantité de lumière nécessaire va également dépendre du sujet lui-même, de sa culture ou de son état physique.

Malgré ces variabilités, des valeurs de niveaux d'éclairage sont définis dans les normes et recommandations internationales.

Le confort :

La notion de confort est ici définie par l'absence d'inconfort, lui-même caractérisé par l'éblouissement. L'éblouissement apparaît dès lors que le sujet éprouve une gêne ou une réduction de l'aptitude à distinguer les détails ou les objets. On distingue deux formes d'éblouissement : inconfort et incapacité. L'éblouissement d'inconfort produit une sensation inconfortable sans pour autant troubler la vision des objets. A l'inverse, l'éblouissement d'incapacité trouble la vision des objets sans nécessairement provoquer une sensation inconfortable. L'éblouissement d'inconfort produit une baisse de la performance visuelle, il s'agit d'un phénomène physiologique qui est quantifiable.

L'agrément :

Ce qui est confortable n'est généralement pas désagréable, mais n'est pas nécessairement agréable ! Il existe des lieux dans lesquels il n'y a pas de gêne visuelle, le lieu est confortable, mais l'ambiance lumineuse peut être monotone, ennuyeuse, voire triste, elle n'est donc pas agréable. La limite qui fera basculer une ambiance d'agréable à désagréable est subtile et dépend de la sensibilité de l'individu et de la fonction de l'espace.

La notion de bien-être est évaluée plus positivement lorsque les usagers ont la possibilité d'adapter eux-mêmes l'éclairage à leurs besoins. Ainsi, l'étude menée par Zumtobel³ montre que dans des bâtiments tertiaires, l'intervention restreinte des utilisateurs et les possibilités d'adaptation limitées sont corrélées avec une appréciation nettement plus défavorable de la qualité de l'ambiance lumineuse et du bien-être.

A.2. Eclairage naturel

A.2.1. Contexte climatique et urbain

Le niveau d'ensoleillement d'un site va naturellement influencer le potentiel en éclairage naturel. On évoque ici uniquement la lumière transmise de manière directe, c'est à dire lorsque le ciel est dégagé.

Les apports lumineux sont très variables d'une région du globe à l'autre. La *Figure 6* illustre le nombre d'heures moyen d'ensoleillement mensuel reçu par les villes de Brest et de Nice. Les Niçois bénéficient de 2,7 fois plus d'heures de soleil par an que les Brestois quand les besoins de chacun sont similaires.

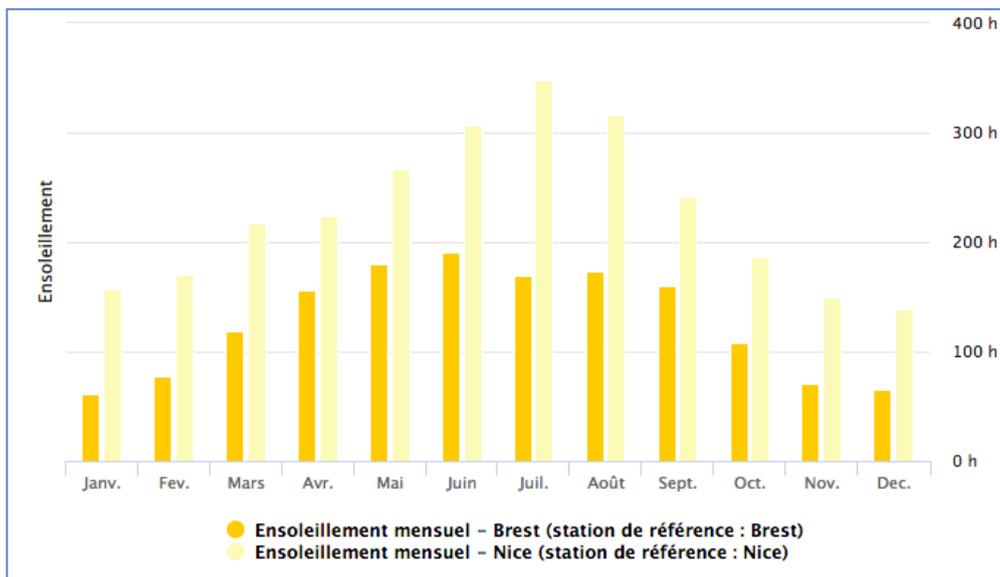


Figure 6 – Ensoleillement mensuel moyen reçu à Brest et à Nice ©Météo France

De la même manière on différenciera une construction dans un milieu urbain dense d'une construction en site dégagé. Le potentiel de captation et d'utilisation de la lumière naturelle sera fortement réduit en ville dans un quartier marqué par des bâtiments de plusieurs étages. Il convient donc de déployer des stratégies d'optimisation en jouant sur les facteurs de réflexion des parois, en préconisant des

³ Qualité de la lumière perçue au bureau. Phase 1 / Evaluation au niveau européen – Zumtobel Research
Réseau Breton Bâtiment Durable – Ambiances lumineuses et confort visuel

solutions d'éclairage zénithal ou de second jour pour bénéficier au mieux de l'accès à la lumière naturelle.

A.2.2. Les outils de calcul

Pour évaluer la qualité de l'éclairage naturel d'un local au sein d'un bâtiment, l'indicateur le plus utilisé est le **Facteur de Lumière du Jour (FLJ)**. Il calcule le rapport entre l'éclairement intérieur en un point du plan de travail utile et l'éclairement horizontal extérieur en site dégagé dans les conditions jugées les plus défavorables, c'est à dire par ciel couvert. Le FLJ s'exprime en pourcentage.

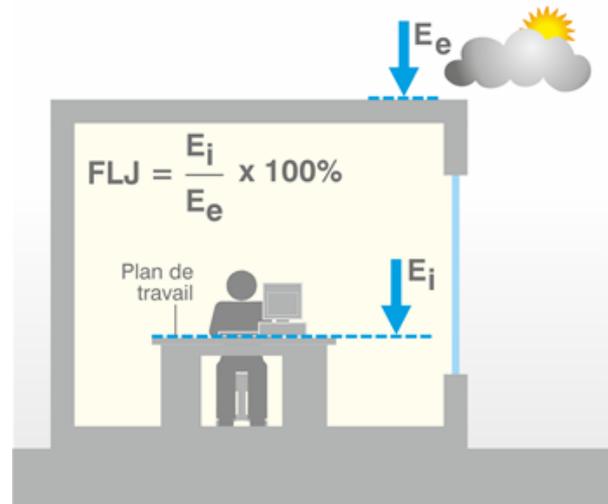


Figure 7 - Calcul du Facteur de Lumière de Jour
©www.energieplus-lesite.be

FLJ	- de 1 %	1 à 2 %	2 à 4 %	4 à 7 %	7 à 12 %	+ de 12 %
	Très faible	Faible	Modéré	Moyen	Élevé	Très élevé
Zone considérée	Zone éloignée des fenêtres (distance environ 3 à 4 fois la hauteur de la fenêtre)			A proximité des fenêtres ou sous des lanterneaux		
Impression de clarté	Sombre à peu éclairé		Peu éclairé à clair		Clair à très clair	
Impression visuelle du local	Cette zone semble être séparée de cette zone					
Ambiance	Le local semble être refermé sur lui-même			Le local s'ouvre vers l'extérieur		
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 risques d'éblouissement	

Figure 8 - Interprétation du Facteur de Lumière du Jour

En phase Avant-Projet, les Facteurs de Lumière du Jour d'un local sont calculés par simulation numérique.

En phase Esquisse, Le FLJ moyen d'un local éclairé par un vitrage vertical peut être estimé à l'aide de la formule suivante :

$$FLJ_{\text{moy}} = S_v \cdot T_L \cdot \Theta / [S_T(1 - R^2)]$$

- Sv : surface du vitrage en m²
- T_L : facteur de transmission diffuse du vitrage
- Θ : angle de ciel visible depuis le centre du vitrage exprimé en degrés. (90° si aucun masque n'est créé par des bâtiments ou l'environnement, 60° si un bâtiment crée un ombrage entre le sol et les 30 premiers degrés)
- A : surface totale des parois intérieures (vitrage compris)
- R : facteur de réflexion moyen des parois du local (0,5 par défaut)

On notera que le calcul du FLJ ne tient pas compte de l'orientation des baies vitrées, de la saison et de l'heure. Elle donne ainsi **une mesure de la qualité intrinsèque du bâtiment à capter la lumière naturelle.**

La position de l'ICEB

L'indicateur de lumière de jour présente des limites, il n'est notamment pas adapté à la conception de protections solaires et peut entraîner un surdimensionnement des baies en ciel clair. C'est cependant la méthodologie la plus utilisée internationalement pour caractériser la quantité de lumière naturelle dans un local.

Les indicateurs dynamiques de type « autonomie lumineuse » sont prometteurs. Il conviendra de rester attentif aux seuils qui seront proposés par les organismes spécialisés.

A.2.3. Vue sur l'extérieur

La qualité des vues sur l'extérieur depuis un bâtiment est évidemment liée à la question de l'éclairage naturel et joue un rôle tout aussi important dans la qualité d'usage des locaux dans la mesure où elles créent des liens nécessaires avec l'espace environnant. Ce contact avec le monde extérieur reste à doser avec justesse en tenant compte à la fois de l'usage du bâtiment, de la qualité des vues proposées et des contraintes liées à la performance thermique de l'enveloppe. En fonction de sa position, notamment si elle est en hauteur, une fenêtre jouera un rôle dans l'éclairage de la pièce sans pour autant offrir de vue sur l'extérieur.

A.3. Eclairage artificiel

Un projet complet d'éclairage comporte normalement 3 phases :

- Le choix du type d'éclairage,
- Le choix des lampes et des luminaires et donc le choix de la couleur,
- Le dimensionnement de l'installation (nombre de lampes et luminaires permettant d'atteindre l'éclairage désiré)

A.3.1. Les types d'éclairage

Le choix du type d'éclairage va déterminer la répartition du flux lumineux dans l'espace. Le schéma ci-dessous précise les différentes classes de luminaires existantes :

- Direct intensif et direct extensif pour les flux lumineux dirigés **vers le bas**,
- Semi-direct et semi-indirect lorsque le flux lumineux est dirigé **en partie vers le bas et en partie vers le haut**,
- Indirect lorsque le flux lumineux est uniquement dirigé **vers le haut**

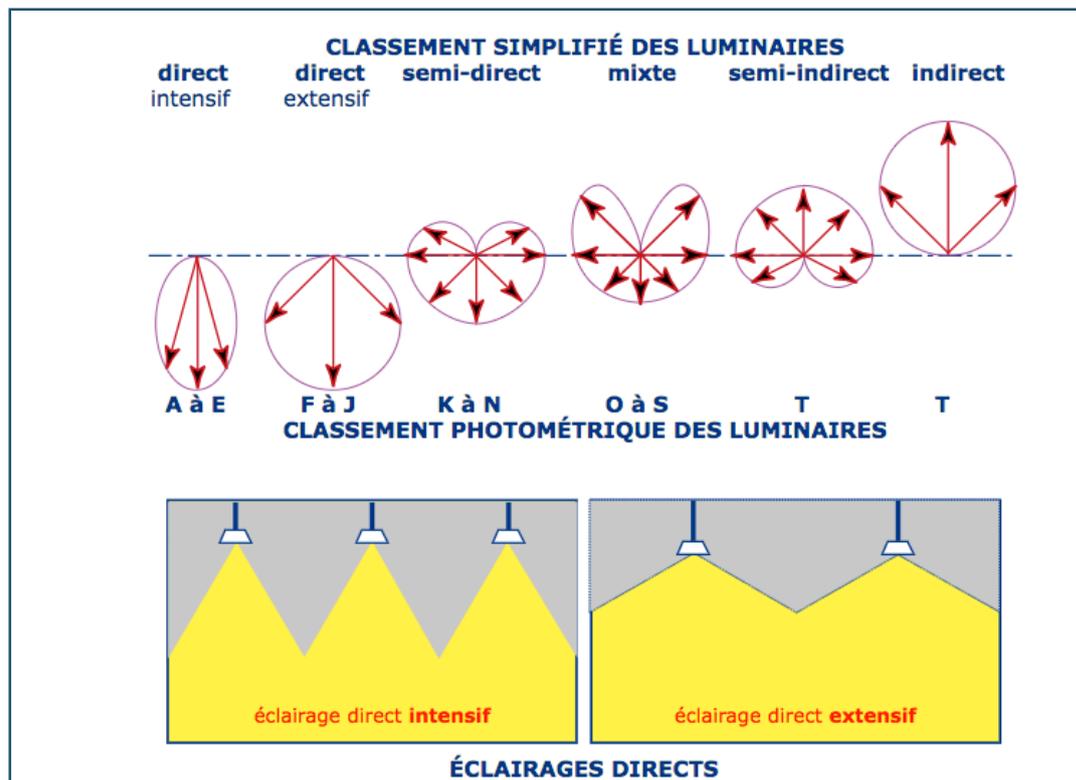


Figure 9 - Classement des types d'éclairage

© Roger Cadiergues – L'éclairage artificiel, guide RefCad nR27.A

A.3.2. Les sources de lumière

A.3.2.1. Les lampes et luminaires

Il existe principalement quatre types de lampes :

- Celles qui émettent de la lumière à partir de **l'incandescence** d'un filament, Le courant électrique traversant un filament de tungstène, porte celui-ci à une température suffisante pour qu'il y ait émission de lumière. Les lampes halogènes sont des lampes à incandescence où l'atmosphère neutre (argon et azote dans les lampes standard) contient également des gaz halogènes (iode ou brome)
- Celles produisant du rayonnement visible par décharge électrique dans un gaz, elles sont essentiellement destinées aux espaces de grande hauteur, exigeant des niveaux d'éclairage assez élevés. La lumière est produite par une décharge électrique dans une ampoule contenant des halogénures métalliques ou de sodium haute pression. Ces sources ne peuvent être reliées directement au réseau et utilisent des accessoires d'alimentation (ballast, amorçeur...).
- Celles, également à décharge, mais produisant du rayonnement ultraviolet qui est transformé en rayonnement visible par la couche **fluorescente** des parois du tube (lampes fluorescentes). Ces lampes nécessitent un dispositif d'allumage (starter) et un limiteur de courant (ballast). Les lampes fluocompactes sont constituées de tubes fluorescents mis en forme de façon à n'occuper qu'un volume analogue à celui d'une ampoule classique.
- Plus récemment sont apparues les **diodes** électroluminescentes (les LED). Elles sont utilisées en très basse tension. Leur principal intérêt est leur bonne efficacité lumineuse : elles transforment de 15 à 25% de l'énergie électrique en énergie lumineuse (75 à 130 lm/W). Les LED présentent l'inconvénient d'avoir des caractéristiques colorimétriques assez difficiles à maîtriser et il faut associer plusieurs couches lumineuses pour obtenir une couleur acceptable. Elles présentent également une faible résistance aux fortes températures.

La position de l'ADEME

Les améliorations des performances des LED permettent aujourd'hui des durées de vie d'au moins 25 000 heures. Les performances des solutions LED sont en constante augmentation et pour certaines d'entre elles viennent concurrencer les solutions d'éclairage général classiques. Il faut toutefois veiller à choisir des produits de qualité avérée. Un règlement, en cours d'élaboration au niveau européen, permettra de donner des critères d'évaluation des performances réelles de ces lampes. Une étude sanitaire française a mis en garde contre certaines sources à base de LED, des études complémentaires sont menées au niveau européen.

A.3.2.2. Les principales caractéristiques

Les performances sont très variables en fonction de la puissance, de l'efficacité lumineuse, de la couleur et de la durée de vie de l'équipement. Le tableau ci-dessous reprend les données types pour chaque type de source.

Type de source	Puissance [W]	Efficacité [lm/W]	T. de couleur [K]	IRC	Durée de vie [h]
Incandescence					
Standard	15 – 1000	8 – 18	2600 - 2900	100	1000
Halogène basse tension	50 – 2000	8 – 18	3000	100	2000
Halogène très basse tension	15 – 100	8 – 18	3000	100	2000 – 4000
Fluorescence					
Tubes fluorescents	18/36/58	8 – 18	2700 – 6500	66 – 98	8000 – 12000
Fluocompactes de substitution	5 – 23	8 – 18	2700 – 3000	85	8000
Fluocompactes d'intégration	5 – 55	8 – 18	2700 – 4000	85	8000 – 12000
A décharge					
Aux halogénures métalliques	20 - 2000	15 - 1000	3000 – 6000	65 – 85	6000 – 8000
A vapeur de sodium haute pression	35 - 1000	15 - 1000	2000 - 2500	80	8000 - 24000
LED					
LED	1,5 - 20	70 - 130	2600 - 10000	50 - 100	15000 - 40000

Figure 10 – Caractéristiques types pour différentes sources lumineuses

©Roger Cadiergues – L'éclairage artificiel, guide RefCad nR27.A

A.3.2.3. Le dimensionnement

Le dimensionnement permet de calculer le flux lumineux à fournir et donc le nombre de lampes et luminaires permettant d'atteindre l'éclairage désiré.

Le calcul de base des installations d'éclairage est essentiel, il s'appuie sur deux normes de dimensionnement des installations d'éclairage :

- La norme NF S 40-001 qui sert essentiellement aux fabricants et distributeurs pour établir les tables de calcul de leurs appareils ;
- La norme NF C 71-121 qui simplifie un peu l'application de la norme précédente, mais reste utilisée dans les mêmes conditions.

Le flux lumineux total à fournir par l'ensemble des lampes d'un local est calculé de la manière suivante :

$$\Phi = (E.A/U).(\delta/\eta)$$

- **Φ [lm]** : flux lumineux à fournir
- **E [lx]** : éclairage prévu pour le local
- **A [m²]** : surface du plan utile. Il est, par convention, défini comme le plan horizontal situé à 0,85 m au-dessus du sol.
- **U** : utilance, comprise entre 0 et 1, dépend des facteurs de réflexion des parois et du plafond.
- **δ** : facteur de dépréciation des lampes et luminaires (1,15 au bout de 6 mois, 1,25 au bout de 12 mois, 1,32 au bout de 18 mois)
- **η** : rendement des luminaires (entre 0,9 et 1,0 pour les lampes à incandescence, tubes fluorescents ou lampes fluocompactes)

A.3.3. La température de couleur

La couleur de la lumière doit également être adaptée au niveau d'éclairage souhaité. Le diagramme de Kruithof présenté ci-dessous définit des valeurs de température de couleur à privilégier en fonction du niveau d'éclairage recherché.

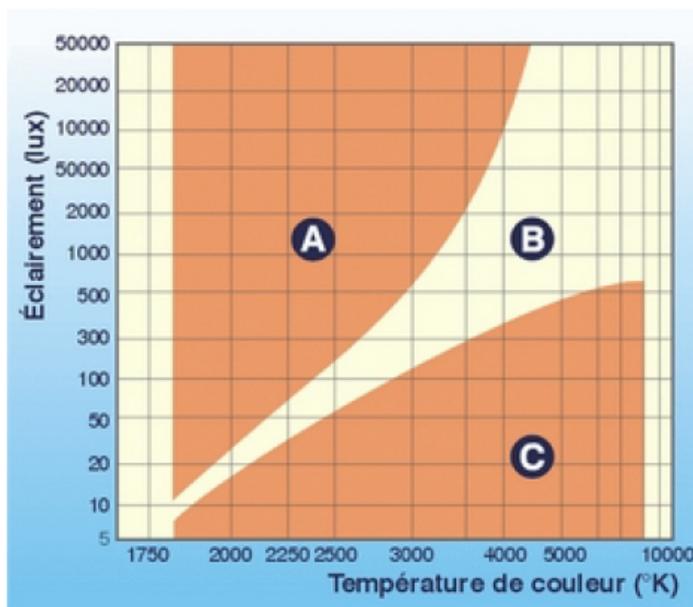


Figure 11 – Diagramme de Kruithof ©Architecture et climat

La zone de confort est la zone B. Dans la zone A, l'impression visuelle évoque une ambiance lumineuse trop chaude car la température d'éclairage est trop faible pour le niveau d'éclairage souhaité. Dans la zone C, l'ambiance lumineuse est de type crépusculaire, elle est trop froide, la température de la source est trop importante par rapport au niveau d'éclairage atteint.

A.3.4. Les consommations

Le dimensionnement d'un système d'éclairage ne peut pas se dissocier d'une approche économique qui intègre à la fois le coût d'achat, le coût des consommations énergétiques et le coût de la maintenance. Le Syndicat de l'éclairage, avec le soutien de l'ADEME a publié un guide⁴ qui propose un outil de relevé à destination des installations d'éclairage tertiaire par lampes fluorescentes. Le tableau proposé ici sera à adapter pour les autres technologies de lampes. Il permet, local par local, d'analyser l'ensemble des coûts inhérents au système d'éclairage.

⁴ Bureaux, écoles : mieux s'éclairer à coûts maîtrisés – Syndicat de l'éclairage & ADEME

DONNEES DE BASE		état lieux / solution 1	solution 2
Niveau d'éclairage à maintenir exigé à la mise en service de l'installation		Lux	Lux
Surface du local		m ²	m ²
Nombre d'heures d'allumage par an	Q	heures	Heures
Durée de vie d'une lampe (variable selon ballast, cf. fabricant)	Dv	heures	Heures
Prix de l'électricité, TTC	R	€/kWh	€/kWh
Taux horaire de la main d'œuvre	S	€	€
COÛT ACHAT MATERIEL			
Nombre de luminaires du même type dans le local	A		
Nombre de lampes par luminaire	C		
Nombre de ballasts par luminaire	F		
Temps d'installation par luminaire	Ti	heures	Heures
Temps total d'installation	Tt = Ti x A	heures	Heures
Coût total d'installation	Tl = S x Tt	€	€
COÛT INVESTISSEMENT INITIAL			
Coût d'un luminaire	B	€	€
Coût d'une lampe	Z	€	€
Coût des lampes par luminaire	D = C x Z	€	€
Investissement par luminaire	MI = B + D	€	€
Coût total des équipements	M = MI x A	€	€
Investissement total (fourniture et pose)	N = Tl + M	€	€
COÛT DES CONSOMMATIONS D'ENERGIE			
Puissance d'une lampe du luminaire	P	W	W
Puissance de l'ensemble lampe + ballast (cf. fabricant)	E	W	W
Puissance totale des lampes et ballasts d'un luminaire	K	W	W
Puissance de l'ensemble du local	L = A x K	kW	kW
Consommation annuelle d'un luminaire	U = Q x K	kWh	kWh
Consommation annuelle du local	V = U x A	kWh	kWh
Coût annuel de consommation d'énergie	W = V x R	€	€
Puissance surfacique (réf. Réglementation thermique)		W/m ²	W/m ²
COÛT DE LA MAINTENANCE			
Nombre de lampes à remplacer par an	Lr = Q / D		
Coût des lampes à remplacer par an	Zl = (ZxLr) + (JxLr)	€	€
Temps d'intervention pour le nettoyage d'un luminaire et le remplacement et la collecte des lampes usagées d'un luminaire	T	heures	heures
Temps d'intervention pour le nettoyage de tous les luminaires et le remplacement et collecte de toutes les lampes	Tl	heures	heures
Coût annuel de la maintenance	X = Zl + (TlxS)	€	€
Coût annuel d'exploitation	Y = X + W	€	€
Economie d'énergie par an	W2 - W1	€	€
Surcoût de l'installation	Sur = N2 - N1	€	€
Economie annuelle globale	Y2 - Y1	€	€
Retour sur investissement	Sur / (Y2-Y1)	ans	ans

Figure 12- Relevés pour l'établissement du diagnostic et calcul du coût global d'une installation - ©Syndicat de l'éclairage

A.3.5. Les systèmes de commande et de gestion

Les systèmes de commande manuelle les plus utilisés sont :

- l'interrupteur simple allumage,
- l'interrupteur double allumage qui permet de commander plusieurs luminaires répartis en deux groupes,
- le va et vient qui permet d'avoir deux points d'allumage dans un local ayant deux portes d'accès par exemple,
- le bouton poussoir de forçage qui permet d'allumer en laissant le système s'éteindre automatiquement.

En éclairage tertiaire, deux systèmes automatiques peuvent influencer sur les consommations d'énergie et aider à mieux gérer la lumière : la détection de présence et la détection de lumière du jour.

Le détecteur de présence commande l'allumage mais aussi l'abaissement du niveau après une temporisation et/ou l'extinction des locaux dès qu'ils sont inoccupés. La temporisation doit être réglée en fonction de l'usage qui est fait du local considéré afin d'éviter des allumages et extinctions à répétition.

Un capteur de lumière permet de contrôler le niveau d'éclairement d'un local bénéficiant d'un apport de lumière du jour et adapte l'intensité de l'éclairage artificiel en fonction de cet apport de lumière gratuit. Ce système permet d'obtenir un niveau d'éclairement constant et de réaliser des économies.

A.4. Réglementation, normes et certifications

A.4.1. Obligations réglementaires

Il n'existe pas d'obligation réglementaire relative à l'éclairement naturel. Les textes officiels traitant de l'éclairage à l'intérieur d'un bâtiment relèvent, soit de la sécurité, soit des économies d'énergie. Le sujet est donc abordé à la fois dans le Code du travail et la réglementation dédiée aux établissements recevant du public (ERP), et dans la réglementation thermique.

Dans le premier cas, il s'agit principalement de fixer des obligations aux maîtres d'ouvrage dans le but d'intégrer l'hygiène et la sécurité dès la conception des bâtiments à usage industriel, commercial ou agricole :

- Code du travail : Titre 1^{er} – Obligations du maître d'ouvrage pour la conception des lieux de travail – Chapitre 3 Eclairage, insonorisation et ambiance thermique - Articles R4213-1 à R4213-9.
- Code du travail : Titre 2 – Obligations de l'employeur pour l'utilisation des lieux de travail – Chapitre 3 Eclairage, insonorisation et ambiance thermique - Articles R4223-1 à R4223-15.

Locaux affectés au travail	Valeurs minimales d'éclairage
Voies de circulation intérieures	40 lux
Escaliers et entrepôts	60 lux
Locaux de travail, vestiaires, sanitaires	120 lux
Locaux aveugles affectés à un travail permanent	200 lux
Espaces extérieurs	Valeurs minimales d'éclairage
Zones et voies de circulation extérieures	10 lux
Espaces extérieurs où sont effectués des travaux à caractère permanent	40 lux

Figure 13 - Valeurs minimales d'éclairage fixées par le Code du travail

- Circulaire du 11 avril 1984 relative au commentaire technique des décrets 83-721 et 83-722 du 02 août 1983 relatifs à l'éclairage des lieux de travail
- Règlement de sécurité incendie dans les ERP : Livre 2 dispositions applicables aux établissements des quatre premières catégories – Titre 1 Dispositions générales – Chapitre 8 Eclairage – articles EC1 à EC15

Pour ce qui concerne l'habitat, les seuls textes traitant de l'éclairage sous l'angle de la sécurité des personnes, ne font état que des dispositifs d'éclairage de sécurité dans les parkings situés en sous-sol.

La réglementation thermique tient compte des consommations liées à l'éclairage dans les règles de calcul TH-CE. Cette prise en compte remonte à la RT 2000. Depuis, l'importance relative de ce poste n'a fait que croître face à l'abaissement du seuil énergétique total traduit dans chaque nouvelle version de la réglementation thermique. Avec la RT 2012, les exigences de consommation maximale d'énergie primaire (Cep max) englobent désormais cinq usages : l'éclairage, le chauffage, le refroidissement, la production d'eau chaude sanitaire et le réseau de prises de courant (art. 23). L'éclairage représente donc un des leviers importants pour faire de substantielles économies d'énergie dans les bâtiments, au même titre que les autres usages.

Le Bbio (exprimé selon un nombre de points) traduit le besoin en chauffage, en refroidissement et en éclairage du bâtiment. L'optimisation de l'orientation et la prise en compte de l'éclairage naturel sont valorisées dans le calcul du Bbio et permettent ainsi de réduire la valeur conventionnelle d'électricité-éclairage exprimée dans le calcul du Cep. En caractérisant l'enveloppe du bâtiment par sa conception architecturale et son orientation, le Bbio valorise l'isolation thermique et la lumière naturelle à travers les apports solaires. La durée quotidienne pendant laquelle les locaux peuvent tirer bénéfice de la lumière du jour est accrue par une meilleure conception architecturale. À l'échelle de la durée de vie d'un bâtiment, ce paramètre est loin d'être négligeable ! Sur ce point la RT 2012 impose déjà très concrètement une surface de baies supérieure ou égale à 1/6 de la surface habitable (art. 20 de l'arrêté du 26 octobre 2010). Surface des baies et orientations entrent dans les calculs effectués au sein du moteur de calcul RT 2012, au pas de temps horaire.

La RT 2012 considère par ailleurs que les circulations et parties communes intérieures verticales et horizontales inoccupées dans les logements collectifs doivent faire l'objet

d'un abaissement de l'éclairage au niveau minimal réglementaire ou bien d'une extinction si aucune réglementation n'impose de seuil minimal (art. 27). Même approche concernant les parcs de stationnement couverts et semi-couverts (art. 28).

A.4.2. Normes

Les normes visent à répondre aux besoins du marché et sont par principe d'utilisation volontaire. Toutefois, un certain nombre d'entre elles peuvent contribuer à l'application de la réglementation technique et devenir même d'application obligatoire.

La consommation d'énergie électrique par les installations d'éclairage est abordée dans la norme NF EN 15193-1 - Performance énergétique des bâtiments – Exigences énergétiques pour l'éclairage - Partie 1 : spécifications, module M9.

Cette norme remplace depuis le 1^{er} mai 2017 la précédente norme qui datait de 2007.

Le texte spécifie la méthodologie d'évaluation de la performance énergétique des systèmes d'éclairage pour assurer l'éclairage général des bâtiments résidentiels et non résidentiels pour le calcul ou la mesure de la quantité d'énergie requise ou utilisée pour l'éclairage dans les bâtiments. La méthode peut être appliquée aux bâtiments neufs, existants ou réhabilités. La présente norme fournit également une méthodologie (LENI) de mesure de l'efficacité énergétique des installations d'éclairage dans les bâtiments.

Les niveaux d'éclairage moyen à maintenir grâce à l'éclairage intérieur des lieux de travail sont précisés par la norme **NF EN 12464-1 Eclairage intérieur des lieux de travail**.

Cette norme européenne prescrit les exigences d'éclairage vis-à-vis des personnes présentes sur des lieux de travail intérieurs, qui permettront de satisfaire aux besoins de confort visuel et de performance visuelle des personnes dont la capacité ophtalmique (visuelle) est normale. Toutes les tâches visuelles courantes sont considérées, y compris le travail sur un équipement de visualisation (DSE). La norme spécifie les exigences concernant la quantité et la qualité d'éclairage des solutions d'éclairage pour la plupart des lieux de travail intérieurs et leurs zones associées. Des recommandations de bonne pratique de l'éclairage sont données en complément. L'éclairage peut être fourni par la lumière de jour, un éclairage artificiel ou une combinaison des deux. La présente norme européenne ne s'applique ni à l'éclairage des lieux de travail extérieurs et des exploitations minières souterraines ni à l'éclairage de secours. La norme propose dans son chapitre 5 certaines règles générales pour le choix correct de ces modes d'éclairage, en particulier pour l'éclairage du secteur tertiaire.

Concernant la lumière naturelle, la norme spécifie que « *la lumière du jour peut fournir une partie ou la totalité de l'éclairage pour des tâches visuelles et, par conséquent, offre la possibilité de réaliser des économies d'énergie. De plus, elle varie en niveau, en direction et en composition spectrale dans le temps et provoque donc un modelé variable ainsi que des répartitions variables de luminance, ce qui est perçu comme étant bénéfique pour les personnes présentes dans des environnements de travail intérieur.*

La pose de fenêtres est fortement privilégiée sur les lieux de travail pour la lumière du jour qu'elles délivrent et pour le contact visuel qu'elles fournissent avec l'environnement extérieur. Cependant, il est également important de s'assurer que les fenêtres ne provoqueront ni inconfort visuel ou thermique, ni perte d'intimité ».

A.4.3. Certifications

La notion de confort visuel est abordée par les différents référentiels de certification environnementale. Les démarches HQE, BREEAM ou LEED utilisent cependant chacune des méthodes d'évaluation de l'éclairage naturel des locaux qui leur sont propres.

A.4.3.1. Démarche HQE

- **Certification NF Bâtiments Tertiaires – Démarche HQE® :**

Le référentiel impose que 100% des bureaux dispose d'un accès à la lumière du jour et d'une vue sur l'extérieur à l'horizontal du regard.

Le niveau minimal d'éclairage en lumière naturelle est imposé :

Niveau Base	$FLJ_{\text{mini}} \geq 1,2\%$ pour 80% de la surface de la zone de premier rang, dans 80% des locaux concernés (en surface)
Niveau Performant	$FLJ_{\text{mini}} \geq 2\%$ pour 80% de la surface de la zone de premier rang, dans 80% des locaux concernés (en surface) ET $FLJ_{\text{mini}} \geq 1,2\%$ pour 80% de la surface de la zone de premier rang, dans 90% des locaux concernés (en surface)
Niveau Très Performant	Espaces bureaux de premier jour (directement exposés sur façades donnant sur l'extérieur) $FLJ_{\text{mini}} \geq 2,5\%$ pour 80% de la surface de la zone de premier rang, dans 80% des locaux concernés (en surface) ET $FLJ_{\text{mini}} \geq 1,5\%$ pour 80% de la surface de la zone de premier rang, dans 20% des locaux concernés restant (en surface) ET $FLJ_{\text{mini}} \geq 0,7\%$ pour 90% de la surface de la zone de second rang de tous les locaux concernés Espaces bureaux de second jour (non directement exposés sur façades donnant sur l'extérieur) $FLJ_{\text{mini}} \geq 0,7\%$ sur 70% de la surface de 70% des locaux de second rang (en surface)

Figure 14 – Critères de confort visuel définis par le référentiel NF Bâtiment tertiaire – démarche HQE

Des dispositions justifiées et satisfaisantes seront prises pour protéger les usagers du rayonnement solaire direct ou indirect afin de limiter l'éblouissement

Des dispositifs fonctionnels permettront aux usagers d'agir sur l'éclairage naturel dans les bureaux.

- **Certification NF Logements– Démarche HQE® :**

L'indice d'ouverture (Io) des séjours (y compris avec cuisine ouverte) est supérieur ou égal à 15%. L'Io des cuisines fermées est supérieur ou égal à 10%. L'Io des chambres (au moins une par logement) est supérieur ou égal à 15%. La valeur de l'Io minorée au maximum de 20% est tolérée (12% ou 8%) pour 20% des logements de l'opération ou 20% des pièces des logements.

Les FLJ des logements respectent les valeurs minimales suivantes : séjour 2,5% ; chambre 1,8%, cuisine 1,2%. Ces valeurs peuvent être minorées en fonction de la zone climatique. Une étude technique sera réalisée par typologie de logement en justifiant leur représentativité dans le projet et en privilégiant les logements en rez-de-chaussée et en 1^{er} étage.

La surface totale des baies des logements, mesurée en tableau est supérieure ou égale à 1/5^{ème} de la surface habitable.

Dans la moitié des logements, la salle d'eau principale dispose d'une surface vitrée et translucide donnant sur l'extérieur, d'environ 1/6^{ème} de la surface au sol du local.

Un éclairage naturel est présent dans le débarras et/ou cellier et/ou couloir et/ou toilettes, soit par surface vitrée ou puits/conduit de lumière obturable, dans au moins 80% des logements.

Les risques d'éblouissement dans les logements sont réduits par le biais de dispositions particulières tout en veillant à maintenir une vue sur l'extérieur.

Chaque circulation horizontale desservant les logements dispose d'un éclairage naturel direct ou en second jour.

Les circulations verticales disposent d'un éclairage naturel direct.

Un point d'éclairage est prévu au plafond ou en applique murale dans l'entrée, les couloirs, le séjour, les chambres, la cuisine (ouverte et fermée), les salles d'eau et les WC tout en respectant la norme NF C15-100.

Un point d'éclairage extérieur est prévu pour la porte d'entrée principale de chaque maison.

L'indice de rendu des couleurs (Ra) des lampes basse consommation, des tubes fluorescents, des lampes à décharge et des halogènes est supérieur ou égal à 80.

Le facteur de réflexion de chaque paroi (plafond, mur et sol) des circulations horizontales et verticales desservant les logements est :

- 70% pour le plafond ;
- 50% pour le mur ;
- 20% pour le sol.

Une étude d'éclairage artificiel des parties et locaux communs est réalisée afin d'optimiser la performance de l'éclairage et son niveau de consommation. Cette étude doit traiter a minima :

- des conditions d'éblouissement d'éclairage artificiel (identifier au préalable les zones sensibles à l'éblouissement) ;
- des conditions d'équilibre des luminances de l'ambiance intérieure ;
- de la qualité de la lumière émise (Ra et température de couleur).

- **Certification NF Habitat – Démarche HQE® :**

La salle de bain principale, un WC au moins et le hall disposent d'un éclairage naturel (puits de lumière acceptés).

La surface totale des baies, mesurée en tableau, est supérieure ou égale à 1/5^e de la surface habitable, telle que définie par l'article R.* 111-2 du code de la construction et de l'habitation.

Un point d'éclairage extérieur est prévu pour la porte d'entrée principale de la maison.

Le système d'éclairage extérieur est doté de détecteur de présence ou d'une temporisation ou d'un déclenchement par cellule.

A.4.3.2. BREEAM

Les critères d'évaluation considèrent trois aspects à traiter pour respecter les exigences du référentiel :

Définition des critères à respecter – certification BREEAM
La conception de l'éclairage naturel dans le local doit respecter les exigences nationales réglementaires allumage
La valeur du <i>FLJ moyen</i> est respectée sur 80% de la surface du local – cette valeur dépend de la localisation de l'opération (ex : 1.8 % à Paris). La valeur à atteindre ici est une valeur moyenne calculée sur toute la surface du local.
<u>OU</u> L'autonomie lumineuse annuelle (nombre d'heures occupées par an durant lesquelles un niveau d'éclairement minimum est maintenu seulement par la lumière naturelle) est respectée sur 80% de la surface du local – Le seuil à respecter est de 2650 heures à 200 lux
La valeur d'uniformité (FLJ_{min}/FLJ_{moy}) minimum à respecter est de 0.4 (0.7 pour les locaux éclairés en zénithal) ou un FLJ ponctuel moyen de 0,72 % (à Paris) sur 80% de la surface
<u>OU</u> Traitement qualitatif – Vue du ciel à partir du plan de travail (0.7 m) et dimensionnement du local à respecter : $d/w + d/HW < 2/(1-RB)$ d : profondeur de la pièce w : largeur de la pièce HW : hauteur du linteau de fenêtre depuis le sol de l'étage RB : réflectance moyenne des surfaces de la partie arrière de la pièce.

Figure 15 - Confort visuel définis par le référentiel BREEAM

A.4.3.3. LEED

Plusieurs approches sont proposées pour traiter la notion de confort visuel dans la certification nord-américaine.

Définition des critères à respecter – certification LEED
L'autonomie lumineuse spatiale minimale à respecter. Le seuil dépend de la typologie du bâtiment (hors établissements de santé) et du niveau de performance visé (ex : 2 points si 55% et 3 points si 75%)
OU Le niveau d'éclairage minimum calculé est respecté dans des conditions normalisées de ciel clair (9h et 15h à l'équinoxe- heure solaire) Ce seuil varie entre 100 et 3000 lux en fonction du niveau de performance visé (ex : 1 point si 75% des espaces et 2 points si 90% des espaces)
OU Le niveau d'éclairage mesuré respecte, pour deux conditions de ciel, un seuil minimum compris entre 300 et 3000 lux, fonction de la surface du local où la mesure est effectuée.

Figure 16– Critères de confort visuel définis par le référentiel LEED

La position de l'ICEB

La diversité des indicateurs et des seuils entre les référentiels de certification environnementale montre la difficulté de trouver aujourd'hui un indicateur commun qui soit validé. Il faut également comprendre que les exigences des divers référentiels génèrent des réponses architecturales différentes. Ainsi, à titre d'exemple, si l'on applique à l'architecture de Le Corbusier présentée dans le chapitre 2 les exigences des certifications BREEAM et HQE, on s'aperçoit que c'est une architecture qui ne répond pas à l'approche de BREEAM qui encourage la conception de locaux peu profonds où l'éclairage naturel présente une bonne uniformité. La démarche de Le Corbusier aurait en revanche été davantage valorisée par l'approche de la certification HQE et sa notion de zone de premier rang.

On constate également que les référentiels évoluent de manière distincte vers la prise en compte d'autres indicateurs (comme par exemple l'autonomie lumineuse). Des recherches sont encore nécessaires pour trouver l'indicateur d'éclairage naturel universel qui pourra être adopté de manière unanime. Il existe aujourd'hui un débat sur le niveau d'éclairage à maintenir sur le plan de travail dans le cas du travail de bureau (300 lux, 500 lux...). Il est difficile de trancher à ce jour.

L'ICEB peut cependant préciser les éléments suivants :

- L'expérience nous montre que dans le cas du travail sur écran, un éclairage sur le plan de travail de 500 lux, tel qu'il est requis dans la norme EN 12464-1, semble être excessif. Une consigne de 300 lux serait plus appropriée.*
- Le travail de bureau étant aujourd'hui une combinaison de saisie sur écran et d'écriture ou lecture sur papier, des conditions d'éclairage adaptables sont donc souhaitables, à l'aide d'un éclairage général pour le travail sur écran et d'un éclairage d'appoint plus puissant pour le travail de lecture et d'écriture.*
- Le besoin en éclairage varie fortement selon les individus. Par conséquent, il est essentiel que les usagers puissent agir sur les conditions d'éclairage naturel et artificiel : réglage des stores, lampe d'appoint....*

Par ailleurs, dans le cas du travail sur écran qui est une surface verticale, il semble peu adapté de caractériser les conditions de performances visuelles optimales à l'aide d'une consigne d'éclairage horizontal sur le plan de travail.

En effet, il faut comprendre que dans ce cas, la répartition des luminances dans le champ de vision est un indicateur plus pertinent pour apprécier la qualité des conditions d'éclairage que l'éclairage horizontal sur le plan de travail.

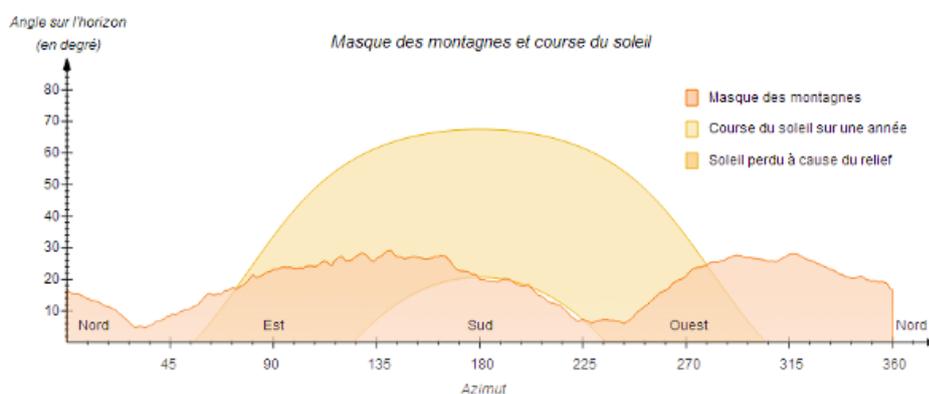
B. OPTIMISER LES AMBIANCES LUMINEUSES

B.1. Composer avec l'environnement extérieur

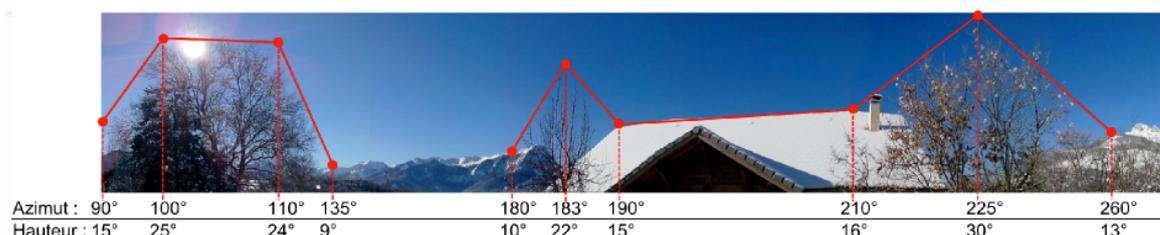
Les travaux de programmation puis de conception sont essentiels pour la réussite d'une démarche visant à optimiser les ambiances lumineuses au sein d'un bâtiment, Il convient en premier lieu de s'appuyer sur l'analyse du site afin de tirer le meilleur parti possible de ses atouts et d'anticiper ses éventuelles contraintes.

B.1.1. Les masques

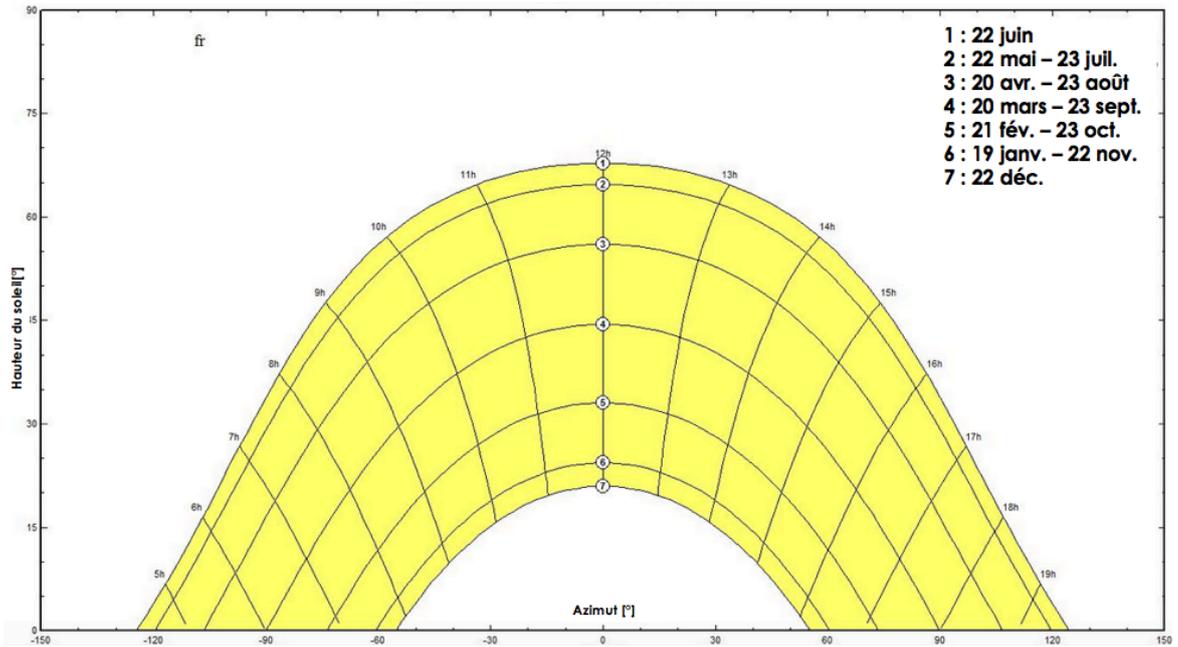
Le masque solaire est un élément naturel (végétation, relief montagneux) ou artificiel (bâtiment ou infrastructure) qui peut masquer le soleil à un moment de la journée. On distingue deux types de masques : le **masque solaire proche** et le **masque solaire lointain**. Le masque lointain concerne principalement le relief naturel, c'est à dire les montagnes.



Le masque proche désigne la végétation ou les bâtiments voisins. Si les bâtiments et autres infrastructures constituent un masque permanent, la végétation peut présenter une saisonnalité s'il s'agit d'arbres à feuilles caduques. En hiver, cette végétation laissera passer le rayonnement lumineux puisqu'elle aura perdu ses feuilles, alors qu'en été elle constituera un masque plus ou moins opaque en fonction de la densité du feuillage. Comme pour les masques lointains, on peut effectuer un relevé élévation/azimut des masques proches afin d'en tenir compte lors des simulations d'éclairage ou thermiques.



L'impact des masques lointains et proches sera pris en compte en analysant la course du soleil sur toute l'année pour intégrer les variations de l'élévation du soleil dans le ciel.



Les masques solaires vont influencer sur la quantité des apports solaires passifs et donc sur le confort thermique et visuel. Dans la mesure où les règles d'urbanisme le permettent, le choix du positionnement du bâtiment sur la parcelle et de l'orientation des différentes façades permettra d'optimiser le confort visuel.

B.1.2. Les orientations

Chaque espace, à l'intérieur d'un bâtiment, aura idéalement une orientation privilégiée en fonction de l'usage auquel il est destiné. Ainsi, on préférera les orientations au **nord** pour éviter l'éblouissement dans le cadre de travail sur écran ou nécessitant une relative constance de la lumière au cours de la journée. Les expositions **est** et **ouest** permettent de bénéficier d'un éclairage plus doux mais la faible élévation du soleil rend plus difficile la maîtrise de l'éblouissement. Une exposition au **sud** permet de bénéficier pleinement des apports solaires directs, notamment en hiver, tout en les maîtrisant en été grâce à des dispositifs simples, de type casquette solaire. Les pièces qui ne sont pas destinées à être utilisées régulièrement et/ou sur des durées courtes pourront hériter des expositions moins favorables, voire être positionnée en cœur de bâtiment, sans accès direct à la lumière.

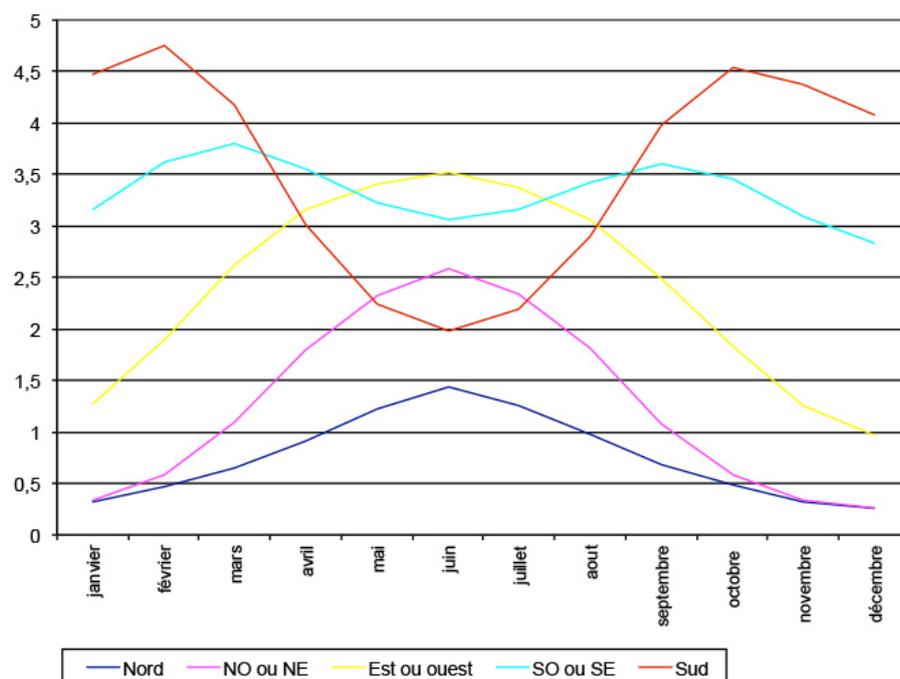


Figure 20 - Appports solaires sur un double vitrage par journée claire en kWh/m².J d'après « Le guide de l'énergie solaire passive », Edward Mazria, 1980

B.1.3. La forme du bâtiment

La forme du bâtiment va largement influencer sa capacité à capter la lumière. Plus il sera profond, plus il sera difficile d'assurer un niveau minimum d'éclairage dans la partie centrale. « La profondeur de 18 m des bâtiments de bureaux standards qui résulte d'un arbitrage technico-économique peut générer jusqu'à un tiers de locaux aveugles dans la partie centrale selon les choix d'aménagements intérieurs et la hauteur utile. A l'inverse, un bâtiment de 14 m et d'une hauteur sous linteau de 2,5 m permettra d'offrir un éclairage naturel à la majorité des locaux. »⁵

Indépendamment de la profondeur du local, plus celui-ci sera étroit, plus il sera difficile d'y maintenir un éclairage naturel homogène, les murs jouant un rôle de masques intégrés. Néanmoins, les conditions d'éclairage naturel seront globalement meilleures pour un local étroit et peu profond que pour un local plus large et plus profond.

	Local 6 trames (P = 6 m)	Local 2 trames (P = 6 m)	Local 2 trames (P = 4 m)
FLJ _{moyen} (%)	4,17	3,62	5,31
FLJ _{mini} (%)	0,82	0,66	1,58
Uniformité	0,196	0,182	0,297

Figure 21 - Influence de la profondeur et de la largeur d'un local sur le FLJ ©L'éclairage naturel – Les Guides BIO-TECH

⁵ L'éclairage naturel – Les Guides BIO-TECH p. 47

B.2. Capter la lumière

B.2.1. Les ouvertures

A surface égale, une ouverture n'apportera pas la même qualité d'éclairage en fonction de sa forme et de sa position. Ainsi, une imposte permettra à la lumière de pénétrer plus en profondeur dans la pièce mais risque de créer une zone d'ombre si elle trop haute. Par contre, une ouverture située en dessous de la hauteur du plan utile n'aura pas beaucoup d'influence sur la quantité de lumière reçue.

La qualité de l'éclairage dépendra aussi de la forme des ouvertures. On veillera à choisir une fenêtre large à la place d'une fenêtre haute ou de plusieurs petites fenêtres étroites afin de répartir la lumière de façon homogène en limitant la succession de contrastes.

Afin de limiter la proportion du cadre dans la surface de l'ouverture qui peut aller jusqu'à 25%, on privilégiera les grandes dimensions.

Le vitrage joue un rôle essentiel dans la transmission de la lumière. La transmission lumineuse TL, exprimée en %, correspond à la quantité de lumière naturelle qui pénètre au travers d'un vitrage. Plus cette valeur est élevée, plus l'éclairage naturel est important et moins le recours à l'éclairage artificiel est nécessaire.

Le facteur solaire g, exprimé en %, représente la transmission totale d'énergie solaire au travers d'un vitrage. Il s'agit de la somme du rayonnement transmis directement et du rayonnement absorbé qui est réémis vers l'intérieur du bâtiment. Plus ce facteur est élevé, plus les apports solaires sont importants.

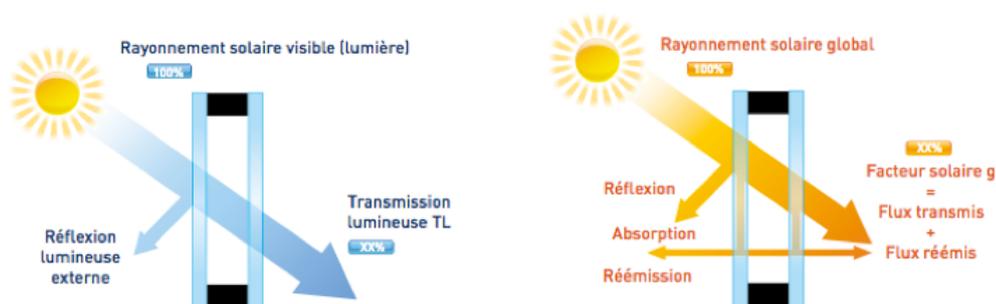


Figure 22 - Transmission lumineuse et facteur solaire d'un vitrage - © www.vgi-fiv.be

B.2.2. Les protections solaires

B.2.2.1. Les protections fixe

- Les brise-soleil horizontaux fixes

Ces dispositifs ne sont adaptés que pour une orientation sud. Sous réserve que le dispositif soit bien dimensionné, il permet de limiter le rayonnement solaire aux saisons les plus chaudes tout en bénéficiant des apports solaires en hiver. L'impact sur la transmission de la lumière peut être important par ciel couvert. D'une façon générale, ce dispositif diminue la composante diffuse de la lumière naturelle.

- Les brise-soleil verticaux fixes

Ces dispositifs ne sont adaptés que pour les façades est et ouest en s'assurant de la bonne inclinaison et largeur des lames pour une bonne efficacité. Comme pour le brise-soleil horizontal, ce dispositif a un fort impact sur l'éclairage naturel, notamment par ciel couvert.

- Résille extérieure

La densité de perforation du support peut permettre de conserver une vue sur l'espace extérieur tout en bloquant les apports solaires. L'éclairage naturel en sera de toute façon fortement réduit dans le local. Le dispositif est plus adapté aux façades largement vitrées et reste peu recommandé pour un local à occupation permanente.

B.2.2.2. Les protections mobiles

- Stores à lames horizontales

Si les lames sont bien orientées, les stores bloquent le rayonnement direct en conservant une vue sur l'extérieur. Ils peuvent être positionnés à l'extérieur, à l'intérieur du bâtiment ou à l'intérieur d'un double vitrage.

La première solution sera la plus efficace contre les surchauffes tout en permettant un pilotage par GTC pour une efficacité optimale. Les stores intérieurs ont une moindre efficacité contre les surchauffes mais restent très efficaces contre l'éblouissement. La dernière solution est plus coûteuse et rend la maintenance difficile.

- Stores à lames verticales

Préférable pour des orientations est ou ouest, ces stores, s'ils sont bien orientés, permettent de bloquer le rayonnement direct tout en conservant une vue sur l'extérieur. Leur efficacité reste limitée contre les apports solaires en été.

- Stores réfléchissants ou à réorientation

Ce système est coûteux mais permet d'optimiser l'éclairage naturel en toute saison. Une mise en œuvre et maintenance par des spécialistes peut être nécessaire.

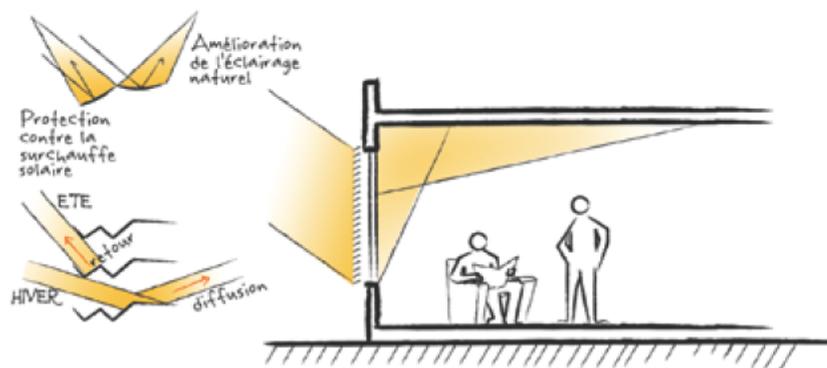


Figure 23 - Stores réfléchissants - ©L'éclairage naturel – Les Guides BIO-TECH

B.2.3. La distribution de la lumière

Quand un local ne bénéficie pas d'un accès direct à la lumière naturelle, il est possible d'apporter ou de redistribuer la lumière via différents dispositifs.

	Principe	Avantages	Inconvénients	Mise en œuvre
Sheds et lanterneaux	Apport de lumière naturelle zénithale par une ouverture donnant sur l'extérieur.	A surface égale, les prises de jour horizontales permettent d'offrir deux fois plus de lumière qu'une fenêtre verticale. Bon moyen d'améliorer l'uniformité en fond de pièce ou d'apporter de la lumière naturelle dans les circulations du dernier niveau d'un bâtiment.	N'offrent pas de vues sur l'extérieur. Des déperditions et surchauffes peuvent être générées. Il conviendra de choisir un facteur solaire adapté, notamment par une protection solaire extérieure. Possibilité d'éblouissement par le soleil direct au travers des lanterneaux si le vitrage n'est pas diffusant.	Pour les sheds, veiller à orienter l'ouverture au nord pour ne pas laisser pénétrer le rayonnement solaire direct. Choisir un coefficient de réflexion lumineuse le plus élevé possible pour les costières des lanterneaux.
Atrium et puits de lumière	Apport de lumière extérieure par un volume extrudé plus ou moins grand au cœur d'un bâtiment.	La création d'un atrium/patio au centre d'un bâtiment peut être une solution adaptée dans le cas d'une construction à la géométrie compacte.	N'offre pas ou peu de vues sur l'extérieur. L'apport de lumière naturelle chute rapidement d'un étage à l'autre.	Préférer cette solution pour des bâtiments peu élevés ou veiller à ce que la largeur du patio soit supérieure à la hauteur du bâtiment. Veiller à choisir un coefficient de réflexion lumineuse élevé pour les parois et le sol. Préférer un patio ouvert à un atrium fermé.
Etagères à lumière	Dispositif permettant de rediriger la lumière naturelle en fond de pièce à l'aide d'un plan réfléchissant positionné sur une baie (à 1/3 de la hauteur) perpendiculairement à celle-ci.	Diminue les niveaux d'éclairage élevés à proximité de la fenêtre et améliore l'uniformité. Permet d'apporter de la lumière naturelle en fond de pièce.	Couplée à un brise-soleil, les performances du système peuvent chuter si un entretien et un nettoyage régulier ne sont pas effectués.	Préférer la mise en place de ce système sur une façade sud.
Conduits de lumière	Tube en matériau ultra réfléchissant (type aluminium) qui collecte la lumière en toiture et la conduit dans le bâtiment.	Permet d'apporter de la lumière naturelle dans les locaux défavorisés ou en fond de pièce. Un système performant pourra apporter de la lumière naturelle à travers plusieurs étages.	Le rendement peut chuter rapidement si le tube est long. Des déperditions thermiques et problèmes d'étanchéité à l'air peuvent apparaître si la mise en œuvre n'est pas soignée.	Maximiser le coefficient de réflexion lumineuse des parois du tube (supérieur à 0,95) pour une efficacité maximale. Veiller à la bonne isolation thermique sur toute la longueur. Pour un rendement efficace (>50%), il est conseillé de choisir un ratio longueur / diamètre inférieur à 10.

Figure 24 - Les dispositifs de distribution de la lumière naturelle - © L'éclairage naturel – Les Guides BIO-TECH

B.3. Rénover sans oublier la lumière

B.3.1. Elaborer un projet

Lors d'un projet de rénovation, il est tout à fait opportun d'intégrer un volet dédié à la rénovation de l'éclairage au même titre qu'à la rénovation thermique. Une fois que le maître d'ouvrage a décidé de rénover l'éclairage, il est conseillé de procéder par étapes :

- **Etablir un diagnostic** : l'installateur avec l'aide d'un bureau d'études établit un diagnostic en définissant les besoins du maître d'ouvrage.
- **Elaborer un projet** : partant des exigences du maître d'ouvrage, des caractéristiques de l'installation, des normes et des réglementations en vigueur, le projeteur (avec parfois l'aide du fabricant ou du distributeur) élabore la ou les solutions d'éclairage possibles.
- **Déposer l'ancien matériel** : l'installateur, en partenariat avec Récylum se charge des déchets du système d'éclairage. Il doit remettre au maître d'ouvrage un justificatif d'enlèvement. Plusieurs solutions sont à sa disposition : les déposer en déchetterie professionnelle du réseau Récylum ou chez un grossiste participant ou les stocker dans ses locaux avant de les faire enlever par Récylum qui les achemine vers des centres de traitement spécialisés.
- **Installer la solution retenue** : l'entreprise d'installation met en œuvre le nouvel équipement, en prévoyant des formations spécifiques, ainsi que les conseils de maintenance destinés à garantir les performances dans le temps de l'installation nouvelle.

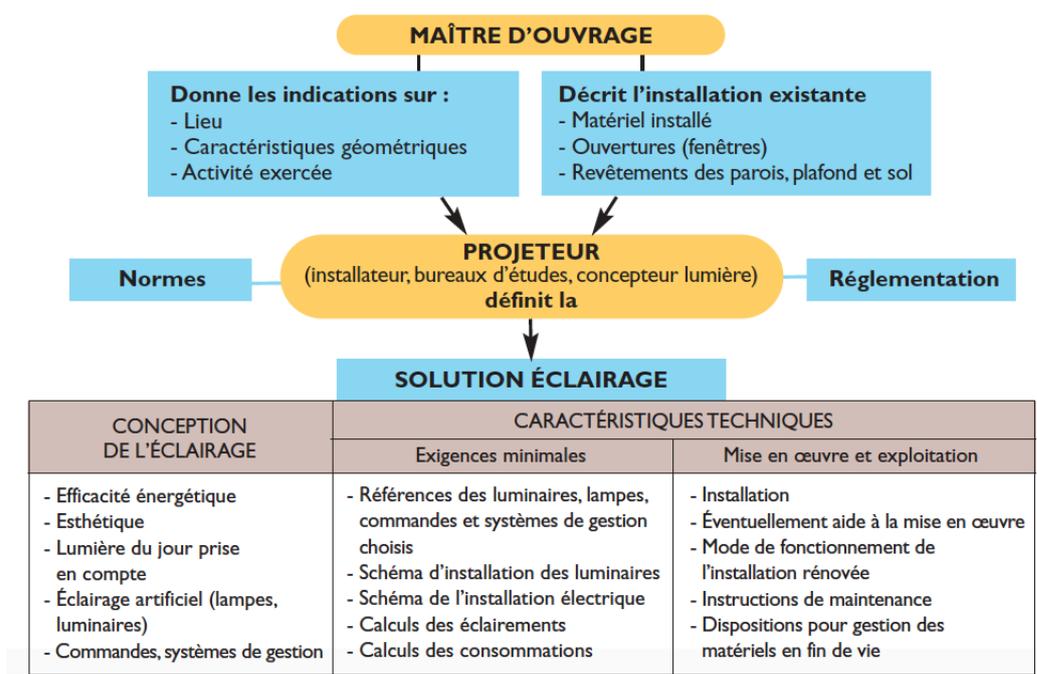


Figure 25 - Processus de rénovation du système d'éclairage
© Rénovation de l'éclairage dans les bâtiments tertiaires, ADEME

B.3.2. Comparatif d'amortissement

Dans son guide *Rénovation de l'éclairage dans les bâtiments tertiaires*, l'ADEME propose une étude de cas concret pour illustrer l'intérêt économique de la rénovation d'une installation d'éclairage tertiaire de 153 m² équipée en 1995. Les tubes fluorescents standards (ballasts ferromagnétiques) et les lampes halogènes très basse tension sont remplacés par des luminaires pour tubes fluorescents équipés de ballasts électroniques et des luminaires pour lampes fluocompactes équipés de ballasts électroniques. La durée de vie de l'installation est estimée à 15 ans.

La durée d'amortissement et les économies réalisées sont estimées pour deux scénarios qui sont reproduits dans le tableau ci-dessous.

Durée d'allumage de 2 500 heures	Coût global d'exploitation de l'installation rénovée à l'identique	Coût global d'exploitation avec uniquement changement des luminaires	Coût global d'exploitation avec changement des luminaires + cellule de détection de présence et lumière du jour
Nombre d'appareils (avec 4 tubes fluorescents de 18 W ou 2 tubes fluorescents de 36 W)	18	26	26
Nombre d'appareils (avec 1 lampe fluocompacte à ballast séparé de 18 W)		20	20
Nombre d'appareils 50 W (avec halogènes TBT)	46		
Nombre de cellules détection de présence			3
Nombre de cellules détection de présence et de lumière du jour			8
Coût des appareils 4 x 18 W ou 2 x 36 W	900 €	1 690 €	2 860 €
Coût des appareils 1 x 18 W		900 €	900 €
Coût des appareils 50 W halogènes TBT	828 €		
Coût des cellules de détection de présence			120 €
Coût des cellules de détection de présence + lumière du jour			480 €
Coût total du nouveau matériel	1 728 €	2 590 €	4 360 €
Différence d'investissement		862 €	2 632 €
Amortissement		0,9 ans	2,3 ans
Consommations d'énergie sur 15 ans	167 850 kWh	83 106 kWh	52 925 kWh
Émissions de CO ₂ sur 15 ans	16 785 kg CO ₂	8 311 kg CO ₂	5 292 kg CO ₂
Coûts d'énergie sur 15 ans	16 785 €	8 311 €	5 292 €
Coûts de maintenance sur 15 ans	8 286 €	2 390 €	2 390 €
Coût total sur 15 ans	25 071 €	10 701 €	7 683 €
Économie sur 15 ans		14 370 €	17 388 €

C. Retours d'expériences et enseignements

Les pages suivantes présentent 12 enseignements principaux issus de l'analyse et de la synthèse des retours d'expériences observés en Bretagne dans le cadre du Dispositif REX Bâtiments performants. Le choix de ces enseignements s'est fait en fonction de la récurrence des constats concernés au sein de l'échantillon, de leur gravité et de l'appréciation des spécialistes du sujet.



LUMIERE NATURELLE – BUREAUX

1- ABSENCE DE PRISE EN COMPTE DE L'EBLOUISSEMENT

DESCRIPTION

Les encadrements extérieurs de la menuiserie en acier inoxydable et en aluminium, respectivement des façades Ouest et Est, reflètent la lumière du soleil sur les écrans d'ordinateur.

ORIGINE

Conception

Le bâtiment étant placé dans un site très boisé, la maîtrise d'œuvre voulait refléter les alentours. Elle a donc choisi des encadrements spéculaires en pensant bien faire

IMPACT

Eblouissement d'incapacité

Cela provoque de l'éblouissement d'incapacité. Certains employés ont dû s'installer sur les bureaux de leurs collègues car ils ne voient pas leurs écrans.

Surcoût

Dans d'autres bureaux, les stores sont complètement fermés et les luminaires sont allumés en permanence

SOLUTION CORRECTIVE

Une solution consiste à remplacer les encadrements, cependant elle engendre de lourdes dépenses.

BONNES PRATIQUES

Dans les bureaux avec peu de masques naturels pour filtrer le rayonnement solaire, il est important d'éviter les menuiseries en matériaux spéculaires et préférer celles en matériaux diffusants.

Afin de déterminer les potentielles réflexions gênantes, il est possible de réaliser un héliodon qui donne la position du soleil dans le ciel, en fonction du lieu, de la date et de l'heure.



Encadrement extérieur en aluminium provoquant de l'éblouissement – Façade Est

2- CONSEQUENCES DU TRAITEMENT INADAPTE DES SURCHAUFFES D'ETE SUR LE CONFORT VISUEL

DESCRIPTION

En l'absence de protections solaires extérieures en façades Est et Ouest, les habitants ferment les volets pour éviter les surchauffes.

ORIGINE

Conception

Dans un souci d'économies financières, la maîtrise d'œuvre a considéré que les volets en bois pourraient également jouer le rôle de protections solaires extérieures. Cependant, les volets ne sont pas adaptés à ce poste, ils ont seulement un rôle d'occultation et ne permettent pas de maîtriser le rayonnement solaire.

IMPACT

Perte de luminosité

Certains logements ne sont pas traversants (une seule façade ouverte sur l'extérieur), par conséquent, la fermeture des volets provoque une forte occultation et les plongent dans l'obscurité.

Surconsommation électrique

L'utilisation des luminaires en pleine journée pour compenser la perte de lumière naturelle entraîne une surconsommation électrique.

Impact sur l'agrément

Les habitants ferment les volets et sont ainsi privés d'une vue sur l'extérieur agréable en pleine journée

SOLUTION CORRECTIVE

Remplacer par exemple les volets par des persiennes ou des stores déroulants extérieurs non opaques.

BONNES PRATIQUES

Pour les ouvertures à l'Est et à l'Ouest, il existe des solutions pour la gestion des surchauffes estivales comme les œillères, le positionnement des menuiseries au nu intérieur, une végétation à feuilles caduques ou l'utilisation de brises soleil orientables.



Volets extérieurs en bois utilisés comme protections solaires extérieures – Façade Ouest



Brise-soleil orientable – façade Est



Œillères

3- MATERIELS INADAPTES A L'USAGE

DESCRIPTION

Il a été observé que les tubes fluorescents compacts (TFC) et les lampes basse consommation (LBC) sont parfois utilisés pour des cycles courts. Or ce type de sources n'est pas toujours adapté à cet usage. Par conséquent, le couplage avec un détecteur de présence / mouvements et des cycles courts répétés, peut fortement réduire la durée de vie et la performance des équipements. A titre indicatif, dans une opération visitée, la durée de vie moyenne théorique des TFC et LBC installés était de dix mille heures. Cependant, à l'usage, les équipements n'ont tenu que deux milles heures⁶ (environ un an et demi)

ORIGINE

Conception

Au moment de la construction de ces projets, le rapport qualité/prix des LED était peu favorable. Le recours aux TFC et LBC, moins coûteux, était donc systématisé sans prise en compte du type d'utilisation.

IMPACT

Surcoût / surconsommation de matériels

Cela engendre des surcoûts liés au remplacement prématuré du matériel et alourdit le budget d'exploitation.

SOLUTION CORRECTIVE

Allonger les cycles de fonctionnement ou remplacer par des sources d'éclairage adaptées aux cycles courts répétés.

BONNES PRATIQUES

En conception, il faut prescrire le système d'éclairage en adéquation avec l'usage. Le choix de la source d'éclairage se base principalement sur des critères de couleur (IRC, TC) et d'usage du local (seuils réglementaires d'éclairage). Il est nécessaire de prendre également en considération le pilotage de la source lumineuse (cycle court ou long).

⁶ A raison de 5h d'utilisation par jour

4- TRAITEMENT DU CONFORT THERMIQUE D'HIVER AU DETRIMENT DU CONFORT VISUEL

DESCRIPTION

Certaines pièces de la façade Nord manque de luminosité.

ORIGINE

Conception

Lors de la rénovation, la démarche bioclimatique conduit parfois la maîtrise d'œuvre à minimiser les ouvertures au Nord afin de diminuer les déperditions.

Dans l'exemple présenté ici, une isolation thermique par l'extérieur (ITE) a été mise en œuvre sur la maçonnerie existante. Cette ITE a été prolongée afin de diminuer les ouvertures au Nord de moitié pour ne conserver qu'un bandeau vertical.

L'absence de maçonnerie sur la moitié de l'ouverture initiale a été utilisée pour inclure une bibliothèque (*projet 1*).

IMPACT

Perte de luminosité - Contrastes

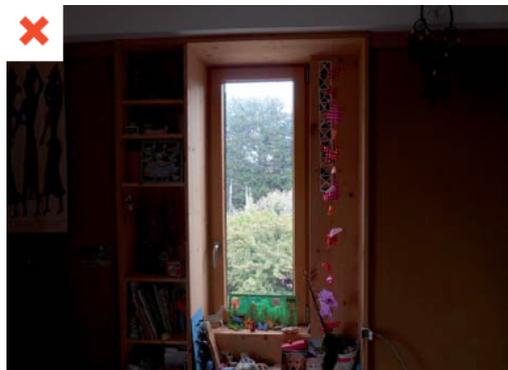
La diminution des surfaces vitrées a réduit l'apport de lumière naturelle. Par conséquent, les usagers sont obligés d'utiliser l'éclairage artificiel pour compenser.

SOLUTION CORRECTIVE

- Peindre l'encadrement en blanc.
- Ajouter des réflecteurs de lumière (ou miroir) pour capter la lumière extérieure

BONNES PRATIQUES

La mise en place de vitrages très performants (ex. : triple vitrage) fait office de compromis entre le confort thermique d'hiver et le confort visuel car l'apport de lumière naturelle est conservé sans diminuer les performances thermiques (*projet 2*). Si la mise en œuvre de vitrages performants est impossible (raisons budgétaires par exemple), il est possible d'utiliser des bandeaux horizontaux qui limitent les contrastes en diffusant la lumière sur une grande surface. Une autre solution est la réalisation d'embrasures inclinées qui laissent plus facilement pénétrer la lumière.

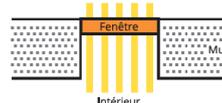


Bandeau vertical et bibliothèque constituant l'ancienne ouverture – Double vitrage – Façade Nord – *Projet 1*

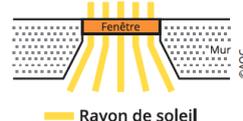


Bandeau horizontal – Triple vitrage – Façade Nord – *Projet 2*

Embrasures droites (90°)



Embrasures inclinées



LUMIERE NATURELLE – ETABLISSEMENTS RECEVANT DU PUBLIC

5- MATERIAUX NON CONFORMES AU CCTP

DESCRIPTION

Le coefficient de transmission lumineuse des vitrages posés n'est pas celui prescrit dans le CCTP.

ORIGINE

Mise en œuvre

Suite au calcul de FLJ réalisé en conception, les caractéristiques requises pour les vitrages ont été spécifiées dans le CCTP. Cependant, ces préconisations ne sont pas toujours respectées et on observe parfois que la transmission lumineuse des vitrages commandés est inférieure à celle demandée. A titre d'exemple, dans une opération visitée, le facteur était de 22% au lieu de 40% pour les vitrages de la façade Sud et de 75% au lieu de 80% pour ceux de la façade Nord.

IMPACT

Diminution de l'apport de lumière naturelle

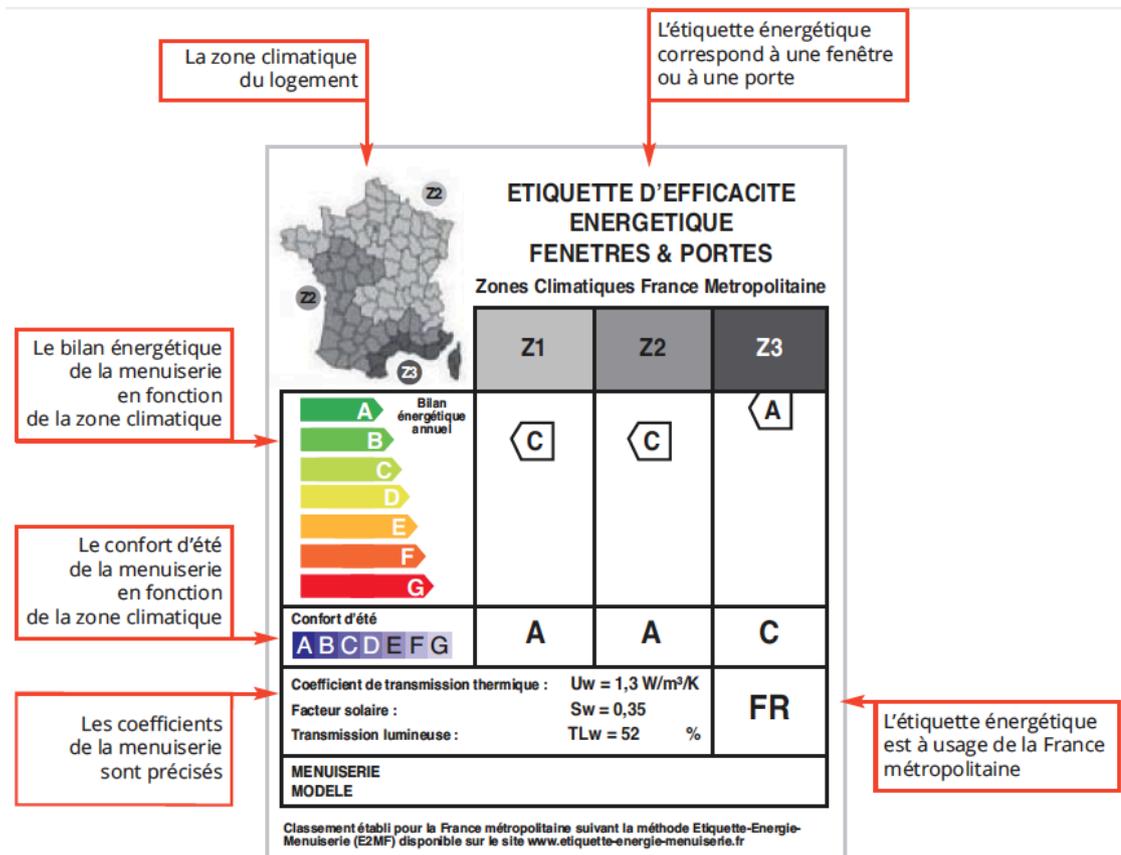
Malgré la taille des vitrages, il fait sombre en pleine journée et les exigences concernant le confort visuel ne plus respectées.

SOLUTION CORRECTIVE

Dépose et remplacement des menuiseries.

BONNES PRATIQUES

Il est important que le MOE précise la transmission lumineuse des vitrages dans le CCTP. Pour l'entreprise, il faut avant toute commande (VISA) envoyer les caractéristiques des vitrages choisis à la maîtrise d'œuvre afin qu'elle valide le produit.



L'étiquette énergétique des menuiseries renseigne sur de nombreuses informations et notamment la transmission lumineuse - © ecoco2

LUMIERE ARTIFICIELLE – BUREAUX

6- DIFFICULTE DE REGLAGE DES DETECTEURS DE MOUVEMENT/PRESENCE COUPLE A UN INTERRUPTEUR CREPUSCULAIRE

DESCRIPTION

Bien qu'il y ait un interrupteur crépusculaire, l'apport de lumière naturelle est sous-estimé par le détecteur. Par conséquent, les luminaires sont souvent allumés à pleine puissance.

ORIGINE

Conception

La couleur foncée des parements et du mobilier ne permet pas d'optimiser les réglages. Par exemple, dans une opération visitée, le noir était la couleur prédominante (carrelages, fauteuils et escaliers). Ceci a eu un impact sur le fonctionnement des détecteurs et n'a pas permis de les régler de façon optimale.

IMPACT

Surconsommation énergétique

Les informations du capteur sont faussées. Certaines fois, l'éclairage s'allume lorsqu'il y a suffisamment de lumière naturelle, ce qui engendre de la surconsommation énergétique.

SOLUTION CORRECTIVE

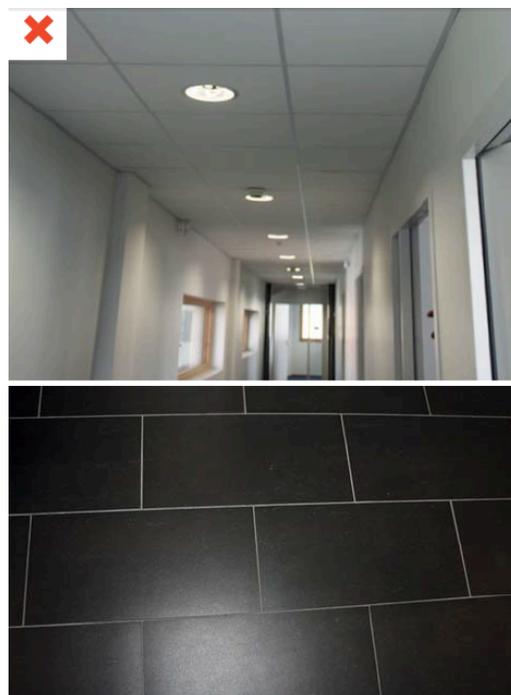
Régler l'orientation des capteurs pour que leur prise d'information se fasse sur une surface plus claire.

BONNES PRATIQUES

Créer un sous-lot réglages ou préciser dans le CCTP les compétences attendues, en matière de réglages des systèmes d'éclairage.

Lors de la conception, il est nécessaire de prendre en compte la couleur des revêtements, du mobilier et des panneaux acoustiques pour les simulations d'éclairage naturel.

Le comportement des usagers est également important : ils peuvent accrocher des documents au murs ou poser des objets à des endroits inappropriés, ce qui peut biaiser la prise d'information du capteur.



Luminaires allumés malgré une lumière naturelle suffisante

LUMIERE NATURELLE – BUREAUX

7- ABSENCE DE SECTORISATION ET/OU DE GRADATION LUMINEUSE

DESCRIPTION

Malgré un apport conséquent de lumière naturelle, les luminaires à proximité de la fenêtre de toit sont allumés à la même intensité que les luminaires situés plus bas, en partie sombre de l'escalier.

ORIGINE

Conception

Ce problème est dû à l'absence de sectorisation et de gradation lumineuse. La sectorisation permet de dissocier le pilotage des sources d'éclairage. La gradation permet de faire varier l'intensité lumineuse manuellement (bouton poussoir) ou automatiquement, en fonction de la lumière naturelle à l'aide de détecteurs de luminosité.

IMPACT

Surconsommation - Surcoût

L'allumage non nécessaire de certains luminaires engendre un gaspillage d'électricité.

SOLUTION CORRECTIVE

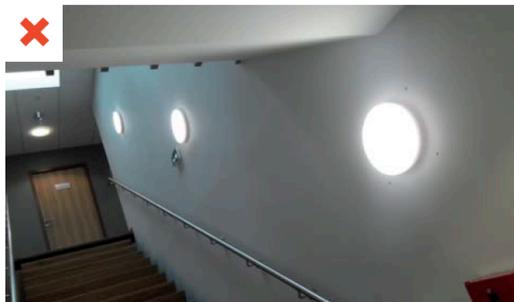
- Différencier les luminaires en partie sombres de ceux en partie éclairée avec des interrupteurs ou des systèmes de pilotage différents. (projet 2)
- Coupler les tubes fluorescents à un détecteur de luminosité qui permet la gradation de l'éclairage artificiel en fonction de la lumière naturelle. (projet 2)

BONNES PRATIQUES

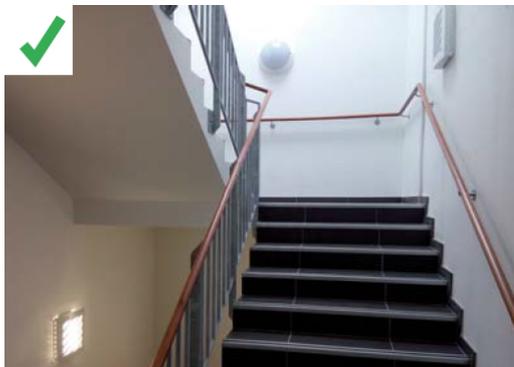
En fonction des apports de lumière naturelle, l'association de la sectorisation des rampes et de la gradation permet de garder un éclairage homogène en gommant les contrastes entre le pied de façade très éclairé et le fond de la pièce plus sombre.



Luminaires allumés situés à proximité de fenêtre de toit – Projet 1



Luminaires allumés aussi bien en bas de l'escalier qu'en haut et avec la même intensité – Projet 1



Luminaire en partie sombre allumé et luminaire en partie éclairée éteint. Sectorisation – Projet 2



Luminaire éteint situé sous la fenêtre de toit – Gradation - Projet 2

8- MANQUE D'HOMOGENEITE DES EQUIPEMENTS MIS EN PLACE

DESCRIPTION

Dans certains établissements d'enseignement visités, les luminaires restent souvent allumés dans les pièces où l'allumage et l'extinction se font manuellement.

ORIGINE

Conception

Ces bâtiments sont pourvus de différents systèmes d'allumage/extinction. La présence de détecteurs de mouvement et de minuteries n'est pas systématique et certaines pièces restent à commande manuelle. En entrant dans une pièce déjà éclairée, il est difficile de savoir si cela s'est déclenché manuellement, avec détecteur de présence ou s'il y a une minuterie. Il devient alors compliqué de chercher un interrupteur dans chaque pièce pour savoir si on doit éteindre manuellement.

IMPACT

Surconsommation - Surcoût

Certaines classe restent allumées inutilement pendant de longues périodes.

SOLUTION CORRECTIVE

Informers les usagers du type de systèmes d'éclairage installé au moyen d'un manuel d'utilisation par exemple. Une signalétique bien visible peut être placée dans les salles à commandes manuelles pour rappeler d'éteindre en partant.

BONNES PRATIQUES

La formation des usagers et du personnel techniques à l'utilisation du bâtiment est primordiale pour éviter la surconsommation énergétique.

Il peut être intéressant de conserver une homogénéité des systèmes d'éclairage par typologie d'usage (détection automatique dans tous les espaces de circulation, pilotage manuel dans toutes les salles d'enseignement, etc.).

9- ABSENCE DE PRISE EN COMPTE DE L'ENTRETIEN/MAINTENANCE

DESCRIPTION

Lors des opérations de maintenance, il est très difficile d'atteindre le transformateur en faux plafonds.

ORIGINE

Conception

Le faux plafond est constitué de plaques acoustiques à lames ajourées en bois. Il n'a pas été prévu de trappe d'accès pour l'entretien et la maintenance.

IMPACT

Impossibilité de réaliser la maintenance

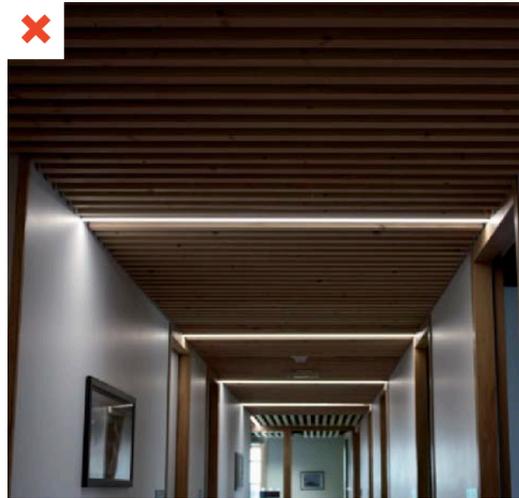
En cas de pannes, les interventions sur les transformateurs ne sont pas réalisables.

SOLUTION CORRECTIVE

Etudier la possibilité de créer des trappes d'accès au niveau des équipements nécessitant un entretien

BONNES PRATIQUES

Dès la conception, il est important de prévoir des dispositifs adaptés et facilement accessibles pour l'entretien et la maintenance du matériel. Par exemple, si les luminaires sont situés en hauteur (suspensions), il faut choisir des sources nécessitant peu d'entretien et de remplacement.



Plafond constitué de plaques acoustiques à lames ajourées en bois, sans trappe – Couloirs

LUMIERE NATURELLE – MAISONS INDIVIDUELLES

10- DEFAUT DE PARAMETRAGE DU PILOTAGE DES STORES EXTERIEURS

DESCRIPTION

Dans cette maison individuelle, les stores extérieurs, utilisés comme protections solaires sur la façade Sud, se baissent de manière inappropriée malgré les tentatives d'ajustement de l'utilisateur.

ORIGINE

Conception

Le pilotage des stores dépend de la quantité de lumière naturelle reçue (en lux) et de la température intérieure. Les stores remontent ou descendent si l'un des deux facteurs est supérieur ou inférieur à la valeur seuil pendant un certain temps.

Ces valeurs seuils sont normalement déterminées lors des études thermiques et d'éclairage naturel. Cependant, aucune donnée ni indications de la part du constructeur et du bureau d'études thermique n'a été transmise à l'utilisateur pour réaliser ses réglages

IMPACT

Inconfort visuel - Surconsommation

Il y a une nette diminution de la lumière naturelle lorsque les stores sont baissés, l'utilisateur allume parfois les lumières en plein jour ce qui diminue l'agrément du local.

SOLUTION CORRECTIVE

Demander au bureau d'étude thermique les valeurs d'éclairage utilisées lors des simulations d'éclairage.

BONNES PRATIQUES

Le choix des équipements de protection solaire doit être adapté à la capacité de pilotage des utilisateurs. En façade Sud, la gestion des apports solaires peut être réalisée avec des brises soleil fixes associés à des stores intérieurs permettant de limiter l'automatisation.



Stores abaissés - Séjour

11- ABSENCE DE PRISE EN COMPTE DE L'ENTRETIEN/MAINTENANCE DES MENUISERIES

DESCRIPTION

Les brises soleil fixes à lame horizontales complexifient le nettoyage des vitres et l'entretien des menuiseries.

ORIGINE

Conception

Lors du choix des protections solaires, la question de la maintenance et de l'entretien a été omise.

IMPACT

Risque pour la qualité d'entretien et de maintenance

L'impossibilité de nettoyer les vitres diminue la pénétration de lumière naturelle dans les salles et donne un aspect négligé aux fenêtres.

SOLUTION CORRECTIVE

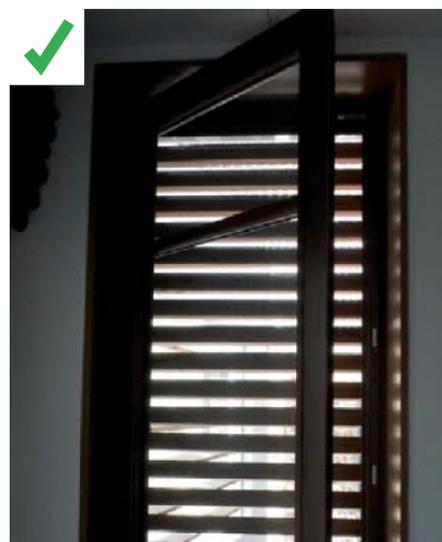
Désolidariser les lames des montants pour les rendre démontables

BONNES PRATIQUES

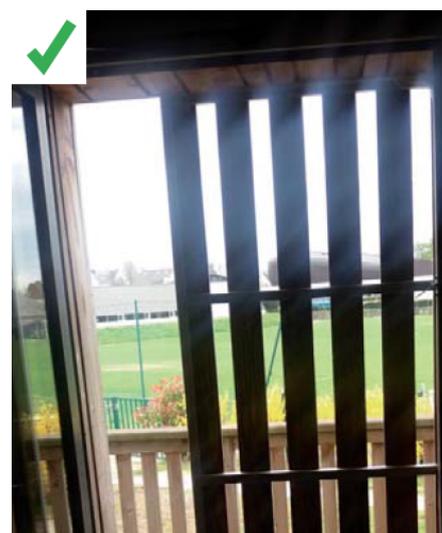
Lors de la conception, il est nécessaire de prévoir l'entretien et la maintenance de l'ensemble des systèmes techniques mis en œuvre. Pour les fenêtres, il est préférable de laisser un espace minimum entre les brises soleil fixes et le vitrage ou d'avoir des ouvertures à la française (vers l'intérieur) pour faciliter l'entretien. Il est également possible d'utiliser des protections solaires fixes sur châssis mobile (type volets sur gonds) ou sur rails.



Brises soleil fixes ne permettant pas le nettoyage des vitres



Ouvrant à la française permettant l'entretien du vitrage



Brise soleil à lames verticales posé sur rail

LUMIERE NATURELLE – BUREAUX

12- MAUVAIS DIMENSIONNEMENT DES BRISE-SOLEIL FIXES

DESCRIPTION

Projet 1 - En été, malgré la casquette sur la façade Sud, les usagers se plaignent d'éblouissement et de surchauffes.

Projet 2 - Les luminaires sont allumés en pleine journée car le hall d'entrée est très sombre.

ORIGINE

Conception

Projet 1 - La casquette de la façade Sud est sous-dimensionnée de 20% par rapport à la profondeur requise.

Projet 2 - Les brise-soleil verticaux à lames horizontales sont surdimensionnés.

IMPACT

Projet 1 - Eblouissement – Surchauffes

Le sous-dimensionnement de la casquette crée de la gêne visuelle ainsi que de l'inconfort thermique

Projet 2 – Inconfort visuel - Surconsommation

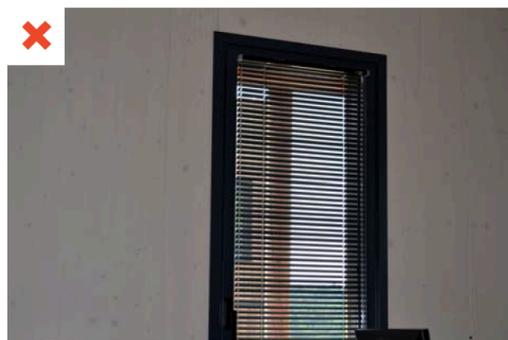
Le manque de lumière naturelle nécessite un recours permanent à l'éclairage artificiel.

SOLUTION CORRECTIVE

Projet 1 - Des stores intérieurs ont été ajoutés pour se protéger de l'éblouissement, cependant cela ne résout pas les problèmes de surchauffes.

BONNES PRATIQUES

Réaliser un héliodrom ou un calcul manuel permet de dimensionner correctement les brise-soleil fixes. Ces derniers doivent toujours être accompagnés d'un store intérieur car les brise-soleil n'empêchent pas à eux seuls la pénétration du rayonnement solaire direct toute l'année.



Projet 1 – Sous-dimensionnement du brise-soleil - Bureau



Projet 2 – Surdimensionnement des brise-soleil – Hall d'entrée

CONCLUSION

De nombreuses stratégies existent pour obtenir une performance en éclairage naturel, c'est à dire un éclairage confortable, agréable et permettant de réduire les consommations énergétiques liées à l'éclairage artificiel.

Les retours d'expérience ont permis de mettre en évidence une certaine homogénéité dans l'origine des désordres concernant l'apport de lumière naturelle. En effet, ces désordres sont majoritairement issus de la phase de conception. Les solutions correctives engendrant de lourdes dépenses, il est nécessaire de traiter efficacement le problème dès la conception.

L'interaction entre l'apport de lumière naturelle et le confort thermique reste un point sensible à traiter avec attention. En effet, très souvent, l'apport de lumière naturelle s'accompagne d'un apport non négligeable de calories, qui peut engendrer des surchauffes. A l'inverse, les stratégies de protections contre les surchauffes peuvent être à l'origine d'une perte de luminosité qui devra être compensée par l'utilisation de l'éclairage artificiel entraînant une surconsommation. Il faut donc trouver le juste équilibre entre ces deux postes importants.

L'éclairage artificiel est lié à la question des consommations énergétiques et donc des coûts d'exploitation. L'optimisation de sa mise en place par une sectorisation et une gradation peut être une solution. Les systèmes de détection peuvent être à l'origine de difficultés. En effet, les délais et la difficulté des réglages sont souvent sous-estimés et nombres de prestations s'arrêtent à la pose des installations alors que le pilotage de ces dernières nécessite d'être affiné dans le temps en tenant compte des retours des utilisateurs. La maîtrise d'ouvrage doit veiller à étendre la mission des entreprises pour qu'elle aille jusqu'à la mise en service et l'exploitation du bâtiment.

Le confort visuel et les ambiances lumineuses sont des sujets transverses et parfois complexes à appréhender pour les professionnels du bâtiment. Beaucoup de facteurs influent sur la luminosité d'une pièce à différents stades du projet. Par conséquent, malgré les recommandations et démarches environnementales, il reste difficile d'obtenir les performances attendues sans un suivi rigoureux tout au long du projet.

Le suivi durant l'exploitation et la sensibilisation des usagers ont aussi leur importance, le premier permet d'adapter les réglages en fonction de l'usage et la seconde favorise un comportement économe. Tous deux limitent ainsi les problèmes de surconsommations et de surcoûts.

Le suivi en exploitation permet également au maître d'ouvrage d'obtenir un retour sur le fonctionnement de son bâtiment, ce qui est essentiel pour améliorer son approche et éviter les écueils décrits dans ce rapport pour les projets futurs.

Réalisé avec le soutien de :



Partenaires de nos actions :



Mission portée par :  Cellule Economique de Bretagne
OBSERVATOIRE DE LA FILIÈRE CONSTRUCTION

Membre du réseau BEEP :  BATI ENVIRONNEMENT ESPACE PRO