

L'Éclairage naturel

Par le groupe **CONCEPTION DES LIEUX DE TRAVAIL**

Maîtriser l'éclairage naturel est primordial dès la conception des lieux de travail pour garantir un éclairage suffisant adapté aux besoins du personnel, en particulier la vision sur l'extérieur et éviter des inconvénients comme les apports thermiques, l'éblouissement, les nuisances sonores. Cette fiche a pour objectif d'éviter des situations insatisfaisantes et pratiquement irréversibles après la phase de conception.



Vitrages latéraux équipés de pare-soleil intégrés.

LA LUMIÈRE naturelle participe de manière importante au confort visuel et il est nécessaire de se fixer un objectif pour l'éclairage naturel dès l'élaboration du cahier des charges du projet de conception des lieux de travail. La qualité de la lumière naturelle est, en effet, souvent meilleure que celle de la lumière artificielle, ainsi que le rendu des couleurs qui a une influence positive pour la détection des défauts, l'amélioration de la qualité et de la sécurité. La lumière naturelle permet également de conserver un contact avec l'extérieur ce qui, tout en permettant de diminuer les contraintes physiques et psychologiques, présente un intérêt pour les économies d'énergie. Un éclairage naturel mal conçu a, cependant, des conséquences négatives en termes d'éblouissement comme il peut accroître la chaleur, en été, à l'intérieur des locaux par l'effet de serre. L'entretien et l'influence des caractéristiques acoustiques des vitrages sont également des éléments à prendre en

compte. Les interactions entre ces facteurs doivent être intégrées dès les études d'esquisse et d'implantation générale.

QUELLES VALEURS POUR L'ÉCLAIREMENT NATUREL ?

Deux solutions sont possibles. La première consiste à assurer pendant la journée un éclairage naturel suffisant qui puisse remplacer totalement l'éclairage artificiel général. Dans ce cas, les niveaux minimaux à atteindre sont les mêmes que ceux recommandés pour l'éclairage artificiel (voir dans la bibliographie, la référence 1). Les valeurs d'éclairage naturel conseillées pour la plupart des locaux de travail sont de l'ordre de 300 à 400 lux. La seconde solution possible est d'assurer un minimum d'éclairage naturel complémentaire à l'éclairage artificiel. Dans ce cas, une valeur de l'ordre de 200 lux peut être retenue pour l'éclairage naturel. L'éclairage naturel étant fluctuant, on utilise pour

les calculs d'éclairage le FJD, Facteur de lumière du jour direct (voir figure 1). En un point d'un local, le FJD est le rapport entre l'éclairage direct provenant de la voûte céleste sans obstruction, et en l'absence d'ensoleillement direct. Une valeur de référence de 5 000 lux est prise pour l'éclairage extérieur. Elle correspond à la valeur minimale d'un éclairage que l'on rencontre par ciel couvert de 7 heures du matin à 17 heures pendant huit mois de l'année. Si l'on fixe les valeurs d'un éclairage intérieur naturel à 200 lux, le FJD est égal à 4 % : il correspond, en effet, au rapport de 200 lux sur 5 000 lux. La pose de vitrages, les châssis des fenêtres, l'empoussièrement diminuant l'éclairage naturel de 20 % à 30 % (voir évaluation précise en réf. 2), il faut donc que le FJD soit de l'ordre de 5 % (soit 250 lux) pour avoir, en final, un éclairage naturel à travers les vitrages d'environ 200 lux.

COMMENT CHOISIR LE TYPE D'ÉCLAIREMENT NATUREL ?

Les caractéristiques géométriques du local conduisent à choisir soit un éclairage latéral, soit un éclairage zénithal, soit un mélange des deux. Trois possibilités s'offrent donc au concepteur : pour des locaux de faible hauteur sous plafond (de 2,50 mètres à 3 mètres), on retiendra un éclairage latéral. Pour ceux dont la hauteur est supérieure à 4,50 mètres, l'éclairage zénithal est indispensable, sauf pour les locaux de faible profondeur, avec éventuellement un complément par un éclairage latéral en partie haute des façades. Pour les locaux de hauteur intermédiaire, de 3 mètres à 4,50 mètres, le ■■■

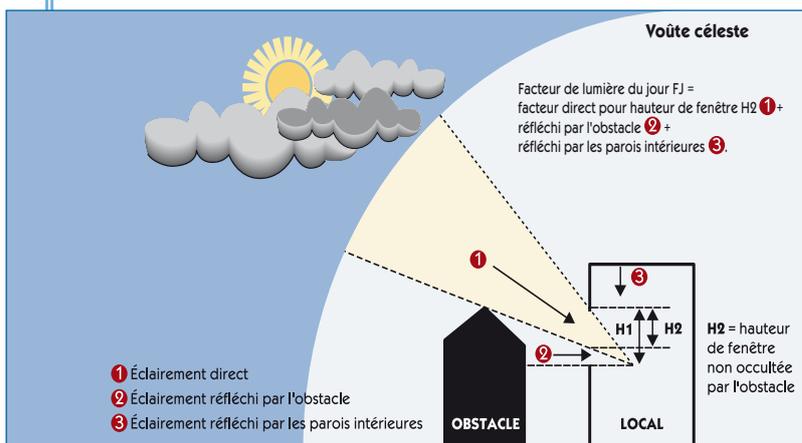


Figure 1 :
Les composants du facteur de lumière du jour

■ ■ ■ choix dépend de leurs autres caractéristiques : la profondeur, la largeur et la forme du bâtiment. **Il est important de ne pas confondre la vue sur l'extérieur à hauteur des yeux qui est obligatoire, avec l'éclairage naturel latéral et/ou zénithal qui nécessite la détermination des dimensions des prises de jour.**

QUELS CRITÈRES RETENIR POUR L'ÉCLAIRAGE LATÉRAL ?

On retient, pour l'évaluation des valeurs d'éclairage pour des ouvertures unilatérales, la méthode de la CIE, Commission internationale de l'éclairage. Cette méthode est basée sur une évaluation du FJD, à l'intérieur du local à travers des prises de jour, donc sans châssis, ni vitrage. La figure 2 donne les valeurs de FJD en fonction des caractéristiques du local et des prises de jour. Il faut noter que si un obstacle vient occulter la prise de jour (voir figure 1), la hauteur d'ouverture à considérer pour la lecture de la figure 2 est H2. Ensuite, on peut ajouter l'éclairage réfléchi par l'obstacle égal à l'éclairage avec une hauteur

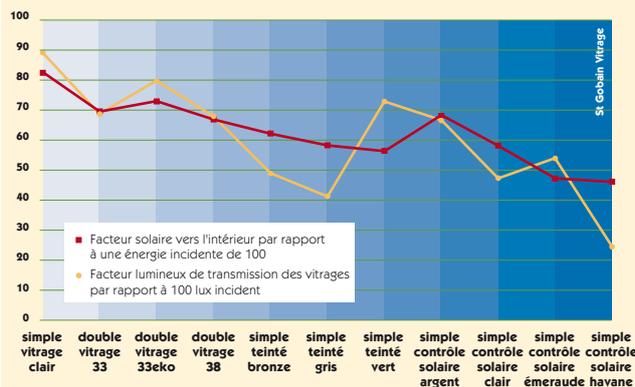
FENÊTRES ET VITRAGES Une protection solaire efficace

TYPE DE PROTECTION SOLAIRE	Valeur minimale	Valeur maximale
Protections pleines et opaques	5 %	14 %
Protection transparentes (persiennes, stores vénitiens, toiles transparentes)	10 %	20 %
Protection entre 2 vitres (efficacité moyenne)	20 %	45 %
Protection à l'intérieur du local (efficacité limitée)	35 %	70 %

Facteur solaire des protections solaires

Le facteur solaire des vitrages seuls

La figure ci-dessous donne quelques valeurs pour différents types de vitrage. Par exemple, une simple vitre teintée bronze transmet environ 62% de l'énergie solaire incidente, mais seulement 48% du flux lumineux incident.



Le facteur solaire des fenêtres (châssis + vitrages)

Il dépend de la position de la fenêtre par rapport au nu du mur de la façade. Les valeurs indicatives pour des fenêtres ouvrantes à la française, sans rideau ni fermeture (fenêtre en bois, PVC, métal) sont les suivantes : en position intérieure, le facteur solaire est égal à 51 % pour du simple vitrage et 42 % pour du double vitrage ; en position extérieure, le facteur solaire est égal à 56 % pour du simple vitrage et 46 % pour du double vitrage.

Le facteur solaire des protections solaires

Des stores vénitiens (lamelles horizontales) fermés, installés à l'extérieur, transmettent entre 10% et 20% de l'énergie solaire incidente (voir tableau). Les protections solaires efficaces, à l'extérieur, sont donc à intégrer dès la conception des bâtiments car leur impact architectural est important.

Les facteurs lumineux et les facteurs solaires de quelques vitrages

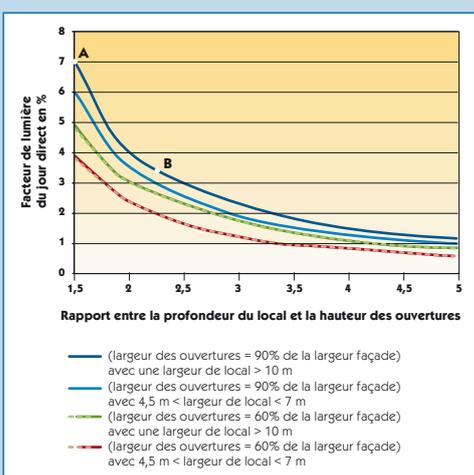


Figure 2 : Facteur de lumière du jour direct en pourcentage

► Pour obtenir le FJD, facteur de lumière du jour direct, on calcule le rapport entre la profondeur du local (distance à laquelle on calcule l'éclairage) et la hauteur des ouvertures : au point A, ce rapport est égal à $3 \text{ m} / 2 \text{ m} = 1,5$; au point B, il est égal à $4,5 \text{ m} / 2 \text{ m} = 2,25$. Ces valeurs permettent de lire FJD sur le graphique de la figure 2.

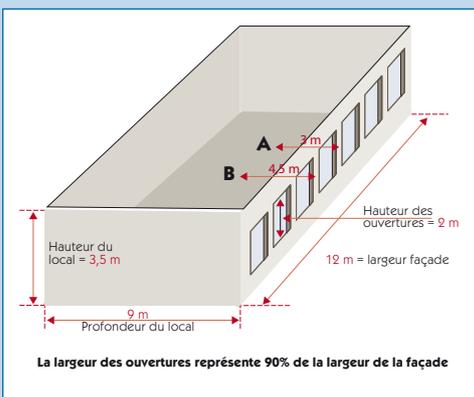


Figure 3 : Évaluation de l'éclairage naturel intérieur d'un local

d'ouverture de (H1 - H2) multiplié par 0,1. Par ailleurs, on peut ajouter l'éclairage réfléchi vers l'intérieur du local, par les parois claires de ce local, compris entre 1 % et 2 % (voir dans la bibliographie la référence 2). On obtient alors le FJ, facteur de lumière du jour.

Concrètement, on opère de la manière suivante. On décide de se fixer comme objectif un éclairage naturel égal à 200 lux dans un local dont les caractéristiques sont décrites dans la figure 3. La largeur des ouvertures représente 90 % de la largeur de la façade. On calcule l'éclairage naturel au point A distant de 3 mètres de la façade et au point B distant de 4,5 mètres. On obtient, pour les caractéristiques de ce local, un facteur de lumière du jour égal à 7 % sur la figure 2.

Partant d'un éclairage extérieur de 5 000 lux, on obtient un éclairage intérieur non corrigé en A de $5\,000 \times 7\%$ soit 350 lux. De la même manière, on trouve environ 170 lux pour le point B situé à une distance de 4,5 mètres de la façade. Le vitrage et les châssis réduisant ces éclairagements de l'ordre de 20 % à 30 %, l'éclairage est seulement de l'ordre de 250 lux au point A et de 120 lux au point B.

L'objectif de 200 lux en éclairage naturel n'étant pas atteint au point B, il est donc nécessaire d'avoir des prises de jour sur l'autre façade, on aura alors des ouvertures bilatérales.

Les aspects thermiques et l'éblouissement

Il faut également tenir compte des aspects thermiques du rayonnement et de l'éblouissement. On

doit, en effet, éviter la pénétration directe des rayons du soleil sur les postes de travail afin d'éviter l'éblouissement et le rayonnement direct sur ces mêmes postes. Un autre objectif est de réaliser une bonne isolation thermique pour éviter un apport excessif de calories dans l'ensemble du local, notamment en été (par convection, rayonnement...), ce surplus thermique conduisant à l'effet de serre. Ces objectifs peuvent être atteints par différents moyens, qui sont classés ci-dessous, par ordre d'importance.

● L'orientation des parois vitrées

Une orientation au nord ou en double exposition au nord et au sud est conseillée. En ce qui concerne l'orientation sud, les vitrages sont plus faciles à protéger des rayons solaires, que pour les orientations ouest ou est, par des auvents, brise-soleil horizontaux ou dispositifs fixes (voir figure 4).

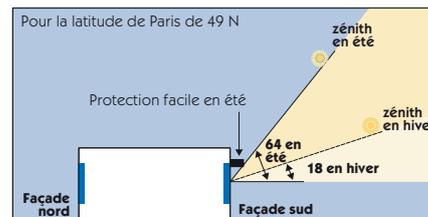


Figure 4 : Orientation conseillée pour les parois vitrées

Un brise-soleil constitué de lames dégagées de la façade permet à l'air chaud de remonter le long de la façade et donc de diminuer l'effet de serre.

● Les stores ou dispositifs mobiles

Pour l'exposition est, ils assurent une protection le matin, en particulier en été. Pour l'exposition ouest, ils assurent une protection l'après-midi, notamment en été où il y a cumul de la température maximale de jour et un rayonnement solaire important (voir figure 5).

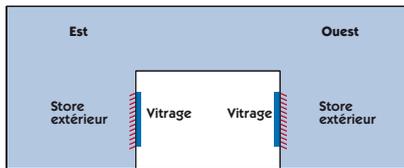


Figure 5 : Protections solaires pour les expositions est et ouest

Les stores ou dispositifs mobiles sont également efficaces pour l'exposition sud, à défaut des auvents décrits précédemment.

Attention : les stores intérieurs ne protègent efficacement que contre l'éblouissement. Pour une protection thermique, seuls les stores extérieurs sont efficaces.

● Vitrages traités pour diminuer l'apport thermique

Ces vitrages permettent de diminuer l'apport thermique. Ils ont l'avantage d'être intégrés à l'architecture des bâtiments mais ont l'inconvénient de diminuer également le flux lumineux (assombrissement, notamment en hiver).

Deux facteurs sont importants à connaître lorsque l'on parle de vitrage : le facteur lumineux de transmission et le facteur solaire qui sont utilisés par les fabricants pour caractériser les vitrages. Le facteur lumineux de transmission est le pourcentage du flux lumineux incident transmis à travers le vitrage. Le facteur solaire est celui de l'énergie incidente qui pénètre à l'intérieur du local. Dans l'exemple de la figure 6, le facteur solaire est égal à 85 % soit 83 % + 2 %. Plus le facteur solaire est proche de la valeur 100 % plus l'énergie thermique pénètre dans le local sans atténuation (voir encadré page 2).

Les incidences par rapport à l'acoustique

Une attention toute particulière doit être portée à l'acoustique aussi bien pour les bruits venant de l'extérieur que de l'intérieur lorsqu'on a une grande proportion de vitrage. Une étude acoustique du local pourra être réalisée en fonction de sa disposition, des types de bruit émis par l'atelier de fabrication ou l'unité de travail, des ■ ■ ■

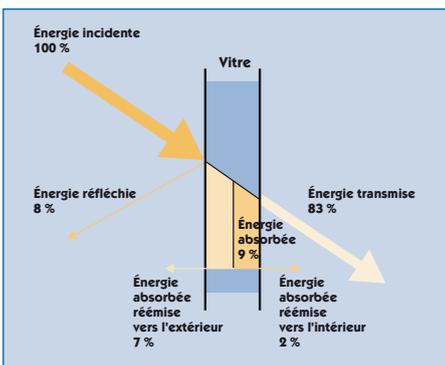


Figure 6 - Facteur solaire des vitrages.

LUMIÈRE NATURELLE

Les différents types d'éclairage zénithal

Les différentes solutions techniques (sheds, dômes, verrières...) décrites sont classées de la plus satisfaisante à la moins favorable.

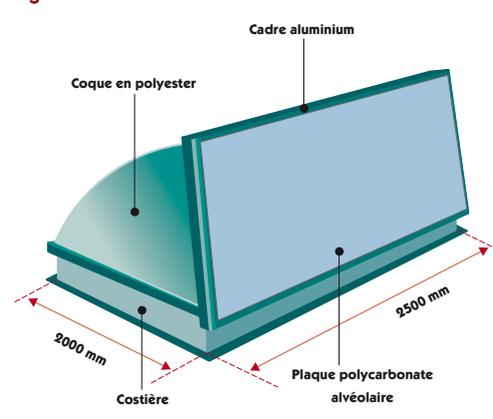
Les sheds

C'est la meilleure solution pour l'éclairage naturel. Les sheds permettent de concilier un éclairage suffisant, homogène et une limitation des apports solaires. Le vitrage sera orienté au nord. Ils peuvent être verticaux, inclinés à 45° - 60° par rapport à l'horizontale.

Plus le vitrage se rapproche de la verticale, plus sa surface doit être importante pour un facteur de lumière du jour directe équivalent. Il est donc plus économique d'avoir un vitrage incliné qui évitera aussi le rayonnement direct sur le poste de travail. Une inclinaison de 60° permet d'éviter totalement ce rayonnement, même en été. Une inclinaison de 45° est acceptée mais elle est moins favorable à cause du rayonnement direct du soleil au zénith en été. Une répartition des sheds sur toute la toiture permet une homogénéité de l'éclairage. Près des murs, dans le sens de la longueur, l'éclairage est plus faible et l'on doit compenser par des vitrages latéraux.

Autres dispositifs du type de sheds : les minisheds, les sheds-lanterneaux. Ces dispositifs évitent l'ensoleillement direct, la partie vitrée étant dirigée vers le nord. Ils ont les avantages des sheds pour un prix et un poids équivalents à ceux d'un lanterneau ou d'une coupole. Le vitrage est incliné de 80° à 45° par rapport à l'horizontale, selon les modèles. Ils peuvent intégrer une fonction aération et désenfumage (voir figure 1).

Figure 1 : Un minished

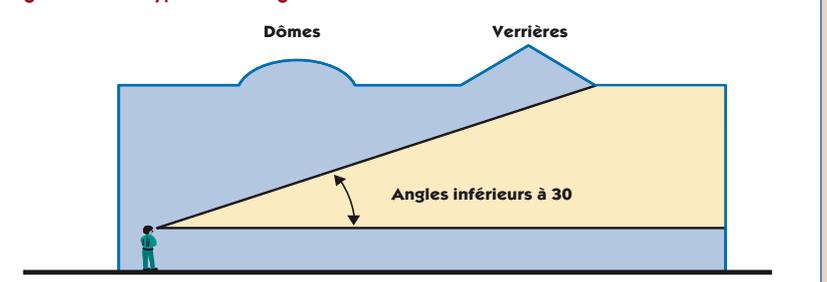


© ECDIS - 69 Chapponnay

Les dômes

Économiques ils ne nécessitent pas de structure lourde et ils permettent d'atteindre l'objectif en termes de facteur de lumière du jour direct avec une surface d'environ 10 % d'indice de vitrage. Cependant, ils n'évitent pas la pénétration solaire et, en conséquence, l'éblouissement. Pour éviter l'éblouissement des opérateurs, les prises de jour ne doivent pas être dans un angle de 30° au-dessus de l'horizontale (voir figure 2). Ceci peut être obtenu en équipant les dômes de costières surélevées et formant garde-corps.

Figure 2 : Deux types d'éclairage zénithal



Les verrières

L'architecture moderne utilise abondamment les verrières (exemple, les pyramides), notamment pour les halls d'accueil. Cette solution présente de nombreux inconvénients, notamment un apport solaire important, lié à la surface de ces verrières et une difficulté de nettoyage (extérieur et intérieur).

Les incidences par rapport à la sécurité

Il est nécessaire que la résistance des matériaux utilisés soit supérieure à 1 200 joules. Pour des sheds verticaux ou d'inclinaison supérieure à 60°, la résistance doit être supérieure à 900 joules (DTU39). Dans le cas où une résistance de 1 200 joules ne peut être obtenue, il est nécessaire de mettre en place des protections permanentes associées (garde-corps, grillage disposé en sous-face).



■ ■ ■ bruits venant de l'extérieur et du type de vitrage choisi.

Il existe un indice "R" pour mesurer l'affaiblissement acoustique d'un vitrage seul. Pour un vitrage simple, l'indice R va se situer entre 24 et 33 dB(A) compte tenu de l'épaisseur du vitrage : pour une épaisseur de 4 millimètres, l'affaiblissement est de 27 dB(A). Pour un double vitrage, l'indice R est situé entre 26 et 36 dB(A).

Les incidences par rapport à la sécurité

Autre critère à prendre en compte, celui de la sécurité. Les vitrages doivent répondre à des critères de résistance aux chocs et au feu. Il est également nécessaire que, en l'absence de climatisation, les fenêtres puissent s'ouvrir afin d'assurer le renouvellement d'air. Pour des locaux climatisés, il est préférable que les fenêtres puissent également s'ouvrir en les déverrouillant afin de **réduire les risques liés au nettoyage**.

En outre, il faut rappeler que pour la maintenance, le maître d'ouvrage ou le coordonnateur de sécurité doit consigner dans le dossier d'intervention ultérieure sur l'ouvrage, les valeurs minimales d'éclairage (naturel et/ou artificiel) et les règles d'entretien des installations (nettoyage, accessibilité, etc.).

QUELS CRITÈRES POUR L'ÉCLAIRAGE ZÉNITHAL ?

Les choix en matière d'éclairage zénithal doivent prendre en compte simultanément quatre impératifs. Premier impératif, il faut assurer un éclairage naturel suffisant dans les locaux de moyenne et de grande hauteur (voir page 1). Pour atteindre cet objectif, la surface des parties transparentes ou translucides est l'élément essentiel. Deuxième impératif, il faut éviter les effets négatifs de l'éblouissement et du rayonnement solaire. Les sheds exposés au nord sont préférables aux

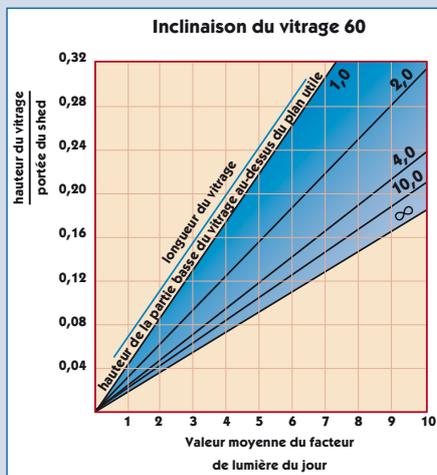
Un exemple d'évaluation des valeurs d'éclairage zénithal au moyen de sheds

L'inclinaison des sheds est de 60° par rapport à l'horizontale. La longueur des sheds est de 160 mètres, leur portée (l'intervalle entre deux sheds) de 32 mètres. La hauteur du vitrage est de 3,50 mètres, le plan utile est à 1 mètre, la partie basse du vitrage du shed se trouve à 8,5 mètres de hauteur.

À partir de la lecture de l'abaque ci-contre, on note que l'ordonnée (hauteur vitrage/portée du shed) est égale à : 3,5/32 soit 0,1. Le paramètre sur l'abaque (longueur vitrage/hauteur partie basse du vitrage au-dessus du plan utile) est égal à : 160/(8,5 - 1) soit 21,3. La lecture sur l'abaque donne un FJD, facteur de lumière du jour égal à 5 %.

Le vitrage, la structure, les salissures viennent diminuer ce facteur d'environ 25 %. On obtient alors un facteur réel d'environ 4 % donnant un éclairage naturel de l'ordre de 200 lux, pour un éclairage extérieur de référence égal à 5 000 lux.

Pour une inclinaison à 75°, on observe une décroissance d'environ 20 %, puis encore environ 20 % pour des sheds verticaux (90°).



La réglementation

LES TEXTES concernant l'éclairage naturel¹ sont applicables par les maîtres d'ouvrage lors de la conception ou l'aménagement des locaux de travail (art. R. 4213-2), par les chefs d'établissements lors des aménagements réalisés pendant la durée de vie des bâtiments (art. R. 4323-13).

Le code du travail définit deux exigences principales :

► **la lumière naturelle** : les bâtiments doivent être conçus et disposés de manière que la lumière naturelle puisse être utilisée pour l'éclairage des locaux destinés à être affectés au travail, sauf dans les cas où la nature technique des activités s'y oppose (Code du travail, art. R. 4213-2) ;

► **la vue sur l'extérieur** : les locaux destinés à être affectés au travail doivent comporter à hauteur des yeux des baies transparentes donnant sur l'extérieur, sauf en cas d'incompatibilité avec la nature des activités envisagées (art. R. 4213-2).

Il faut remarquer que ces deux obligations qui répondent à des besoins fondamentaux, ont été distingués car ils peuvent être obtenus par des aménagements différents. Ainsi, un lanterneau apportera la lumière naturelle sans offrir de vue sur l'extérieur.

Par ailleurs, la circulaire du 11 avril 1984 constitue un commentaire technique des

textes réglementaires, notamment sur la valeur d'éclairage naturel et les surfaces de vitrages.

Il n'a pas été fixé de valeur minimale d'éclairage naturel. Cependant, chaque fois que cela sera possible, il est recommandé d'assurer un éclairage naturel par temps clair, supérieur aux valeurs minimales de l'article R. 4223-4.

Il est recommandé, pour les zones occupées par le personnel, que les surfaces vitrées représentent au moins le quart de la superficie de la plus grande paroi du local donnant sur l'extérieur, en ne considérant que les surfaces en dessous de 3 mètres de hauteur.

De plus, chaque fois qu'il n'y aura pas d'indication précise sur les postures de travail, la hauteur d'allège ne devrait pas dépasser 1 mètre (la hauteur d'allège est la hauteur de la partie fixe et pleine comprise entre le sol du plancher de travail et le vitrage).

Enfin, la lettre circulaire DRT du 28 juin 1990 (non parue au *Journal officiel*) facilite l'interprétation des textes, notamment pour les établissements commerciaux (étude de cas en annexe de cette circulaire).

1- Aide-mémoire juridique : Éclairage des lieux de travail. Paris, INRS, 1992, TJ 13.

dômes et verrières qui présentent des inconvénients. Il faut prévoir également le nettoyage intérieur et extérieur dans des conditions de sécurité satisfaisantes par un choix approprié des matériaux (vieillessement, résistance...) et des accès aux faces intérieures et extérieures. Enfin, il faut assurer l'évacuation des fumées en cas d'incendie. La

surface minimale des exutoires de fumée doit être de 1 % de la surface du local et ne doit pas être située exclusivement sur la toiture. ■

Bibliographie

- 1- "Site Web" www.inrs.fr. Recherche sur le mot-clé : éclairage naturel.
- 2- "La lumière du jour dans les espaces intérieurs". Association française de l'éclairage (AFE), 17, rue Hamelin, 75783 PARIS CEDEX 16.

Adresse utile

Bureau d'étude technique
Centre scientifique et technique
du bâtiment (CSTB), Division Éclairage
et colorimétrie, 11, rue Henri-Picherit,
44071 Nantes Cedex 03.

AUTEURS

CHRISTIAN TERRIER ET BERNARD VANDEVYVER.

ONT COLLABORÉ À CETTE FICHE

RÉALISATION-INFOGRAPHIE : ATELIER F.CAUSSE.

CONTACTS

SERVICE PRÉVENTION DE VOTRE GRAM, s'adresser aux personnels chargés de la conception des lieux de travail.
INRS, tél. : 01 40 44 30 00.
SITE INTERNET DE L'INRS : www.inrs.fr