l'Assurance Maladie
RISQUES PROFESSIONNELS

INRS
Institut National de Recherche et de Sécurité

Démarche de prévention
Équipements | Lieux de travail

Conception des lieux et des situations de travail

Santé et sécurité : démarche, méthodes et connaissances techniques

ED 950

Un écran doit être à la fois :
– absorbant, pour réduire la réverbération et ainsi contribuer à une diminution du bruit ambiant,
– et isolant afin de limiter la transmission sonore entre la source et le récepteur.

La hauteur de l'écran doit dépasser largement la source de bruit ainsi que celle des points de réception à protéger (oreilles des travailleurs). La hauteur de l'écran doit aussi être le résultat d'un compromis entre une bonne protection acoustique et le confort visuel (vue sur l'extérieur).

Enfin, les écrans ne doivent pas empêcher les circulations et réduire les espaces de travail autour des équipements.

5.1.3.7 Isolation du personnel en cabine

Lorsque l'isolation acoustique des machines par encoffrement ne peut être envisagée, l'isolation du personnel en cabine ou en box insonorisé est conseillée. Outre les mêmes qualités acoustiques que celles d'un encoffrement ou d'un local technique, une telle cabine devra comporter une bonne ventilation ou une climatisation, un bon éclairage et une bonne visibilité vers l'extérieur. Le non respect de l'une ou l'autre de ces recommandations se traduirait, par exemple, par l'ouverture des portes de la cabine, ce qui exposerait à nouveau le personnel à une ambiance sonore élevée.

5.1.4 Entretien des moyens d'insonorisation

Les dispositions concourant à faciliter le nettoyage des moyens d'insonorisation sont :
– le captage des polluants chaque fois que possible,
– des espaces et moyens d'accès adaptés (fixes de préférence) et facilement utilisables,
– les moyens de manutention le cas échéant (par exemple, pour l'entretien des baffles) ou des dispositifs facilitant leur retrait (par exemple, panneau acoustique sur rail),
– le choix de matériaux acoustiques facilement nettoyables.

Remarque

Pour le traitement acoustique des locaux dans l'industrie agroalimentaire, des matériaux acoustiques nettoyables sont commercialisés. À titre d'exemple, on citera les laines minérales revêtues de peinture microporeuse, nettoyables à l'éponge, ou encore les laines de verre ensachées dans un polyfluorure de vinyle, nettoyables au jet basse pression. Sous certaines conditions, ces matériaux résistent aux nettoyages fréquents par canon à mousse ou jet d'eau (de 15 à 40 bars maximum, se conformer aux instructions de nettoyage du fabricant) et leur surface lisse s'oppose au développement bactérien. Ils peuvent être utilisés en faux plafond, en revêtement mural ou en baffles.

5.2 Éclairage

5.2.1 Généralités

Le confort visuel est indispensable pour travailler avec un minimum d'efficacité et de qualité. Plus de 80 % des informations nécessaires au bon déroulement de l'activité parviennent par voie visuelle. Voir et être vu sont des conditions nécessaires à la sécurité.

5.2.1.1 Perception visuelle

La rapidité de perception correspond à la durée minimale de présentation d'un signal pour qu'il soit perçu. Elle varie en fonction du niveau d'éclairement et du rapport de luminance entre la cible et l'environnement. Pour les niveaux de luminance les plus faibles, notamment à l'intérieur des bâtiments, les facultés de l'œil – et plus spécifiquement la rapidité de perception et l'acuité visuelle de discernement – diminuent notablement. Pour corriger l'effet de la diminution de ces facultés, lors d'un travail soutenu à un rythme donné, l'œil est obligé de faire un effort visuel fatigant à la longue. Il est à noter que la fatigue s'amplifie lorsque l'absence de visibilité sur l'extérieur empêche de reposer l'œil par accommodation sur le lointain. De plus, avec le vieillissement, l'opérateur a besoin d'un niveau plus élevé d'éclairement et d'un contraste plus fort.

Une distribution adaptée des luminances dans le champ visuel permet de moins solliciter la contraction pupillaire et les mouvements oculaires tout en augmentant :
– la finesse de la vision (acuité visuelle),
– la discrimination de petites différences de luminances (sensibilité aux contrastes),
– l'accommodation et la convergence.

L'éblouissement causé par la surexposition d'une partie de la rétine doit également être évité. L'œil a besoin d'un temps d'accommodation important pour passer d'un environnement très lumineux (par exemple en extérieur un jour ensoleillé) à un environnement plus sombre (intérieur d'un bâtiment). Cela implique notamment de prendre en compte à la conception ces zones de transition pour éviter tout risque d'accident (chute sur un obstacle au sol, collision avec un engin…).

5.2.1.2 Réglementation

Les bâtiments doivent être conçus et disposés de telle sorte que la lumière naturelle puisse être utilisée pour l'éclairage des locaux de travail, sauf dans les cas où la nature technique des activités s'y oppose. Ces locaux doivent en outre comporter à hauteur des yeux des baies transparentes donnant sur l'extérieur.

L'éclairage artificiel doit être vu comme un éclairage de compensation, dont la qualité de rendu doit permettre d'assurer toutes les tâches visuelles dans les meilleures conditions.

L'obligation de vue sur l'extérieur à hauteur des yeux vise, quant à elle, un double objectif : permettre le repos oculaire par une accommodation de l'œil au loin et assurer l'équilibre psychique des personnes. En effet, les personnes travaillant dans des locaux aveugles sont significativement exposées à plus de risques de stress, de dépression et de perturbations du rythme circadien. La conception des vitrages est abordée au § 7.2.

La compréhension de ce double objectif amène à éviter tout raisonnement consistant à compenser une absence de lumière naturelle par l'installation de systèmes de luminothérapie, qui ne peuvent compenser, dans une certaine mesure, que les obligations liées à l'éclairage naturel, mais ne permettent aucunement de répondre à l'obligation de vue sur l'extérieur.

5.2.1.3 Intégration de l'éclairage à la conception

En matière de prévention des risques professionnels, les études prévisionnelles d'éclairage doivent avoir pour objectifs principaux de :
– définir les niveaux d'éclairement suffisants pour réaliser les tâches à effectuer,
– utiliser en priorité la lumière naturelle et permettre la vue sur l'extérieur,
– utiliser des sources d'éclairage artificiel assurant une qualité de rendu des couleurs adaptée,
– éviter l'éblouissement,
– faciliter la maintenance des luminaires.

L'éclairage doit être déterminé par le contenu du travail et par ses variations au cours du temps.

De telles études – qui permettent d'éviter les erreurs et les surcoûts – doivent être confiées à un éclairagiste compétent utilisant des logiciels de calcul rigoureux, et à qui on aura transmis au préalable l'analyse des besoins liés à chaque activité dans l'entreprise.

Ainsi, dès la phase de programmation, il convient de préciser, pour chaque situation de travail, la nature de l'activité et les contraintes visuelles correspondantes, en tenant compte :
– de l'éclairage naturel,
– de l'aménagement de fenêtres offrant la vue sur l'extérieur à hauteur des yeux,
– du choix des protections solaires,
– de la teinte des parois internes des locaux,
– de l'éclairage artificiel intérieur : éclairage général, éclairage localisé,
– de l'éclairage artificiel extérieur,
– de l'éclairage de sécurité…

Les exigences de sécurité pour toutes les activités doivent être précisées, notamment pour les opérations de maintenance (accessibilité, protection contre les chutes de hauteur…).

5.2.1.4 Choix des couleurs

Le choix des couleurs joue un rôle sur le confort et l'agrément de l'environnement ainsi que sur la sécurité (pour la signalisation de santé et de sécurité, voir chapitre 11).

Les couleurs d'ambiance sur les lieux de travail (ateliers, bureaux…) visent des objectifs distincts et complémentaires :
– du point de vue fonctionnel, elles contribuent à mettre en évidence les informations utiles et à organiser l'espace,
– du point de vue esthétique, elles permettent de créer un environnement coloré agréable et harmonieux,
– elles participent au maintien de la propreté des locaux.

Les couleurs ne se réduisent pas à la peinture. Les revêtements, les matériaux, l'éclairage jouent un rôle important. Il faut prendre en compte non seulement les murs et le plafond, mais aussi les machines, les installations, le mobilier, les accessoires et le sol. Tous ces éléments contribuent à la qualité de l'environnement de travail.

Il convient aussi de définir les couleurs d'ambiance et les caractéristiques photométriques des surfaces (facteur de réflexion et type de réflexion des parois et surfaces intérieures), qui influent sur l'éclairage et le rendu des couleurs.

Les facteurs de réflexion recommandés (valeurs cibles) dans les locaux sont présentés dans le tableau 5.1.

Tableau 5.1 : Facteurs de réflexion recommandés dans un local (selon la norme NF X35-103).

Plafond	0,7 à 0,9
Murs	0,5 à 0,8
Plan de travail	0,3 à 0,6
Sol	0,2 à 0,4

Le choix des couleurs joue un rôle important dans l'éclairage des zones de travail par leur pouvoir réfléchissant (voir figure 5.7).

Une ambiance colorée agréable va de pair avec une palette réduite de couleurs et utilise les principes d'opposition et de complémentarité des couleurs (par exemple, entre les murs et les matériels utilisés), plutôt que les contrastes de luminance qui génèrent une fatigue visuelle.

Dans l'espace balayé par les yeux pour accomplir les tâches, les surfaces colorées seront non brillantes (de préférence satinées) et homogènes du point de vue des facteurs de réflexion. Cela est valable aussi pour les plans de travail de bureau et d'ateliers, les dispositifs de signalisation, les équipements utilisés pour l'exécution des tâches. En ce qui concerne la facilité de nettoyage, les surfaces satinées sont aussi faciles à nettoyer que les brillantes, comparativement aux surfaces mates sur lesquelles les salissures s'accrochent généralement plus fortement.

Il est à noter également que les teintes claires diffusant la lumière contribuent au confort visuel avec, en prime, des économies pouvant atteindre, pour l'éclairage artificiel et quel que soit le type de lampes, environ 15 % en coût global comparativement au même local tapissé de parois sombres.

Le choix des couleurs doit tenir compte des contraintes d'activité, par exemple :
– plan de travail de couleur bien distincte de celle des matières ou des objets travaillés, de façon à créer un bon contraste entre ces éléments, notamment dans le cas de petits objets,
– rayonnages de stockage en hauteur de teinte claire de manière à constituer des repères visuels bien visibles pour faciliter le positionnement de palettes en hauteur.

5.2.2 Éclairage naturel

La qualité de la lumière naturelle, à l'écart du rayonnement solaire direct, constitue le référentiel en matière de confort visuel (absence d'éblouissement, rendu des couleurs maximal). Elle a une influence positive pour la détection des défauts, l'amélioration de la qualité et de la sécurité. Par

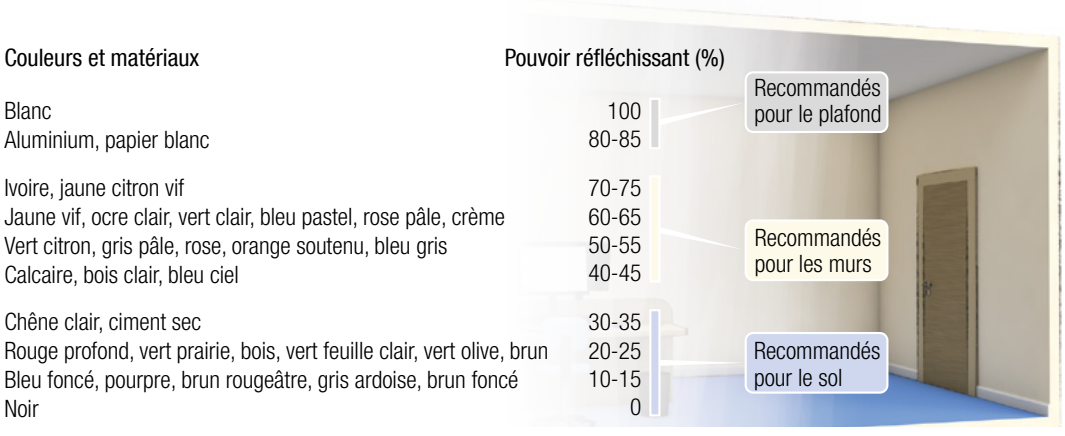

Figure 5.7 – Exemples de pouvoir réfléchissant des couleurs et matériaux et recommandation de zones d'utilisation.

ailleurs, elle concourt à l'équilibre psychologique en permettant de conserver un contact avec l'extérieur dans les locaux de travail. De ce fait, la lumière du jour est en tout préférable à la lumière artificielle.

Les niveaux d'éclairement naturel doivent permettre soit l'extinction totale de l'éclairage artificiel le jour, soit une extinction partielle de l'éclairage artificiel.

La moyenne de 5 000 lux constitue l'éclairement extérieur de référence. Le facteur de lumière du jour (FLJ) est la valeur généralement utilisée dans les labels type BBC, BEPOS[9]… Toutefois, ce facteur ne tient pas compte du prospect (environnement immédiat du bâtiment), ni des fluctuations météorologiques ou des spécificités d'ensoleillement propres à chaque région.

Ainsi, pour prévenir les risques professionnels, il est recommandé de réaliser les études d'éclairage en se basant plutôt sur les deux extrêmes : la nuit (absence pratiquement totale de lumière naturelle) et en situation de plein soleil, pour identifier les risques d'éblouissement.

Pour dimensionner les dispositifs d'éclairage, il est alors nécessaire de prendre en considération une série de paramètres caractérisant :
– le local ou le bâtiment à éclairer (dimensions, proportions, orientation, environnement…),
– les dispositifs de prise de jour envisagés (type, dimensions, proportions, répartition, positions) et leurs protections solaires,
– le matériau transparent ou translucide constituant ces prises de jour (facteur de transmission lumineuse – à noter qu'un simple vitrage clair absorbe plus de 95 % du rayonnement ultraviolet, mais laisse pénétrer environ 80 % des infrarouges),
– la diminution de l'éclairement par les salissures atmosphériques qui se déposent sur les prises de jour.

Critères d'implantation

Les caractéristiques géométriques du local et les activités qui s'y déroulent conduisent à choisir soit un éclairage latéral, soit un éclairage zénithal, ou encore un mélange des deux.

Trois possibilités s'offrent donc au concepteur :
– pour des locaux de faible hauteur sous plafond (inférieure à 3 m), on retiendra exclusivement un éclairage latéral,
– pour ceux dont la hauteur est supérieure à 4,50 m, 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. En cas de présence permanente de personnes dans ces locaux, la vue sur l'extérieur doit être aussi prévue,
– pour les locaux de hauteur intermédiaire, comprise entre 3 et 4,50 m, le choix dépend de leurs autres caractéristiques (profondeur, largeur, forme du bâtiment, activité dans le local).

5.2.2.1 Prises de jour en toiture

Dans de nombreux bâtiments industriels, l'obtention d'un éclairage naturel satisfaisant impose le recours à l'éclairage à travers les toitures. Quelle que soit la hauteur du bâtiment ou du local, il est recommandé que les prises de jour en toiture soient constituées de dispositifs munis de faces éclairantes situées uniquement au nord. Les prises de jour ne sont ainsi jamais exposées au rayonnement solaire direct et évitent donc le risque de surchauffe de l'ambiance interne en été. Cette recommandation se transforme en nécessité dans le cas des locaux de faible hauteur (c'est-à-dire inférieure à 6 m).

Critères de choix

Afin de capter la lumière naturelle sans risque de surchauffe l'été, ni éblouissement, il convient de choisir des dispositifs basés sur le principe de sheds orientés au nord, tels des lanterneaux en forme de mini-sheds et autres formes d'éclairants, ponctuels ou continus, munis de faces opaques sur les côtés exposés au soleil et transparentes au nord (voir photo 7.1).

Dans le cas de dispositifs dont la prise de jour fait face à la course du soleil (dômes, coupoles, plaques d'éclairage), il convient de retenir ceux dont l'éclairant est constitué d'un matériau multipeau (isolation thermique) et translucide (réduction du risque d'éblouissement).

Pour éviter l'éblouissement, ce type de prise de jour doit par ailleurs être situé à plus de 30° au-dessus de l'horizontale par rapport aux opérateurs.

9. BBC : bâtiment basse consommation – BEPOS : bâtiment à énergie positive. Labels sur lesquels s'appuient les réglementations thermiques en matière de consommation d'énergie et de développement durable.

Dans le cas d'un atelier de faible hauteur comparativement à sa longueur, il convient de choisir des moyens d'éclairage naturel à travers les toitures constitués de dômes à costières surélevées formant garde-corps.

Les ouvrants translucides en toiture pour le désenfumage (dispositif d'évacuation des fumées et gaz chauds) peuvent être utilisés comme source d'apport de lumière naturelle.

Quel que soit le dispositif d'éclairage naturel retenu en toiture, il doit être accessible et constitué de matériaux non fragiles ou complété par un moyen de protection anti-chutes pour la sécurité du personnel de maintenance (voir § 7.1).

Répartition

Une répartition uniforme est indispensable pour une diffusion homogène de la lumière naturelle à l'intérieur des locaux. On évitera un seul lanterneau central et on prévoira des dispositifs de protection contre les éblouissements.

5.2.2.2 Prises de jour en façade

Fenêtres

La fonction première des fenêtres est d'assurer la vue sur l'extérieur à hauteur des yeux. Pour cela, elles doivent présenter les caractéristiques suivantes :
– hauteur d'allège comprise entre 1 m et 1,10 m (travail assis) ou 1,10 m à 1,30 m (travail debout),
– superficie des parties transparentes égale, a minima, au quart de la superficie de la plus grande paroi du local (en ne considérant que la partie située en dessous de 3 m de haut).

La fonction d'appoint des fenêtres est aussi de contribuer à la pénétration de l'éclairage naturel dans les locaux. Néanmoins, la profondeur de pénétration du flux lumineux est limitée par la hauteur des fenêtres et son efficacité réelle se réduit aux postes de travail situés près de la façade, à une distance au plus égale à une fois la hauteur de la fenêtre. Au-delà, l'apport de lumière naturelle est intéressant en termes d'ambiance lumineuse mais ne suffit pas à elle seule pour la réalisation des activités de travail.

Dans tous les cas, pour bénéficier de la qualité d'éclairement de la lumière naturelle, les postes de travail permanents doivent être situés à une distance maximale de la façade comprise entre 2 et 3 fois la hauteur par rapport au sol de la limite supérieure de la partie vitrée (voir figure 5.8). Ce coefficient est à adapter en fonction des obstacles éventuels, qu'ils soient extérieurs (brise-vue, arbres, vis-à-vis…) ou intérieurs (mobilier, plantes…), et selon l'ensoleillement de la région, l'orientation du bâtiment, le niveau du bâtiment où se situe la fenêtre, et de tout autre paramètre pouvant réduire l'apport réel de lumière naturelle. **Au-delà de cette distance, les postes de travail sont considérés comme étant en espace aveugle car ne bénéficiant plus de l'apport de lumière naturelle**. Dans le cas d'ateliers de grandes dimensions, l'éclairage naturel des zones éloignées des façades nécessite ainsi toujours des prises de jour en toiture.

Les études prévisionnelles d'éclairage doivent permettre d'évaluer la réelle pénétration de l'éclairage naturel dans les locaux afin de définir les zones les plus appropriées pour l'implantation des postes de travail permanents.

Il est souhaitable que chaque fenêtre reçoive directement la lumière naturelle, qu'une portion de ciel soit visible de chaque zone de travail et que le bâtiment visible le plus proche soit situé à une distance égale à deux fois sa hauteur.

Les dispositions spécifiques pour l'entretien des façades et des fenêtres sont présentées au § 7.2.

Bandes translucides de façade

La fonction des bandes translucides de façade peut consister à apporter un éclairage naturel complémentaire aux fenêtres ou à assurer l'éclairage naturel de locaux dépourvus de postes de travail permanents. Ainsi, quand elles sont disposées :
– horizontalement en partie haute de locaux, elles peuvent, par exemple, assurer l'éclairage naturel d'une passerelle longeant une façade ou augmenter la pénétration de la lumière naturelle en direction des postes de travail éloignés des fenêtres,
– verticalement, elles peuvent venir compléter l'éclairage naturel d'allées de circulation situées entre des rayonnages de stockage en hauteur.

Certains matériaux présentent une structure allongée, sur leur surface ou dans leur masse, par exemple le polycarbonate alvéolaire qui a une structure tubulaire. Ce type de matériau peut

créer une grande bande lumineuse à l'intérieur des locaux lorsqu'il reçoit le soleil directement, et devenir extrêmement éblouissant.

Les moyens de nettoyage en sécurité des bandes translucides doivent être prévus dès la conception.

Protections solaires

Les postes de travail situés à l'intérieur des locaux doivent être protégés du rayonnement solaire gênant, soit par la conception des ouvertures, soit par des protections fixes ou mobiles appropriées. Les protections solaires constituées par des vitrages spéciaux, des films solaires, des stores mobiles, des auvents et autres brise-soleil sont non seulement indispensables pour protéger des éblouissements mais contribuent aussi à la protection thermique en été.

Pour les expositions est et ouest, des protections verticales sont nécessaires (par exemple, stores). Au sud, elles pourront être remplacées par des auvents. Ces protections permettent de réduire l'apport thermique, voire de corriger l'asymétrie de rayonnement (différence de température des parois), source d'inconfort local. Lorsque le local est de petites dimensions (par exemple bureaux), les protections verticales seront installées à l'extérieur pour éviter un apport thermique excessif par le rayonnement solaire.

À noter que les traitements de façade architecturaux, type sérigraphie, verre imprimé ou coloré, éléments de façade suspendus, peuvent être inefficaces pour protéger des risques d'éblouissement et gêner la qualité de la vue sur l'extérieur (distorsion de couleurs, du paysage) (pour en savoir plus, voir le document [5]). Il est ainsi conseillé de vérifier le rendu avant validation du choix des éléments de façade, en testant sur un échantillon par différents ensoleillements et situations météorologiques, à différentes distances des postes de travail (par exemple, en montant l'échantillon sur un support mobile).

- **Les vitrages solaires** réfléchissent une part de la lumière vers l'extérieur et, selon leurs caractéristiques, filtrent plus ou moins fortement la lumière pénétrante. Lorsque la capacité de protection du vitrage est élevée, l'assombrissement s'accentue

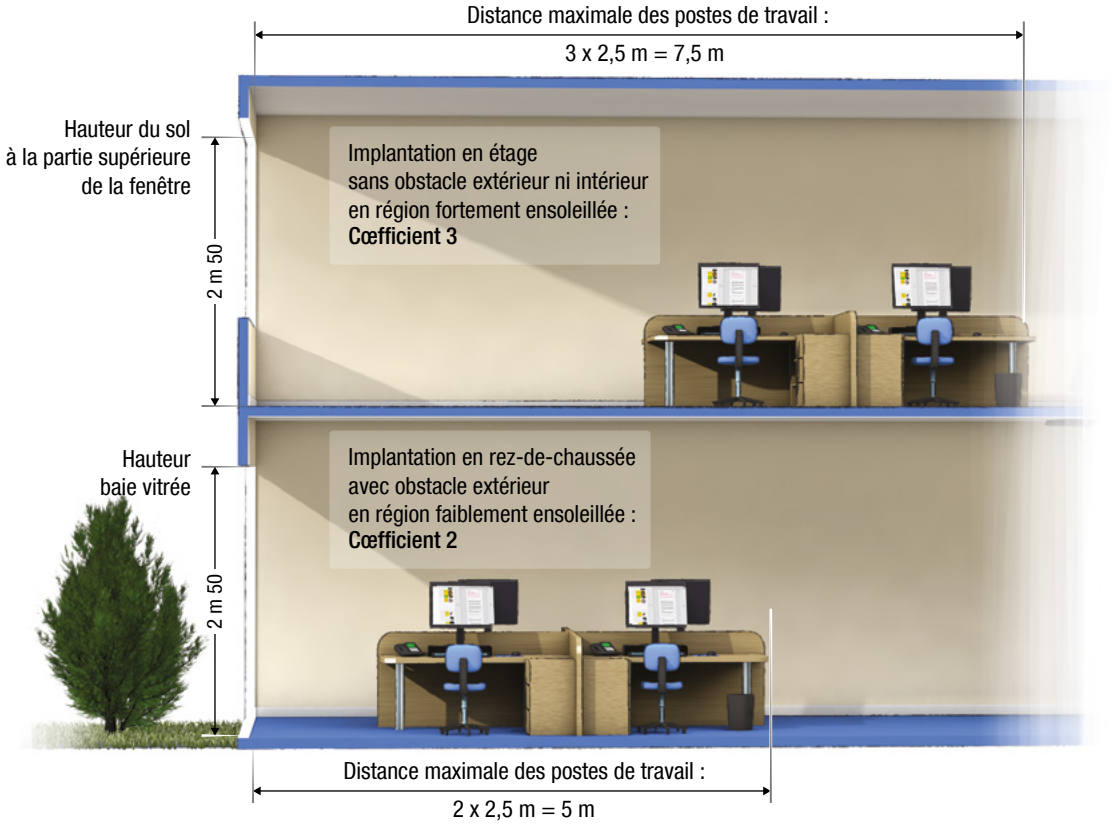

Figure 5.8 – Exemple de définition des distances maximales d'implantation des postes de travail permanents pour bénéficier de la lumière naturelle, en fonction des caractéristiques du local.

par ciel couvert ou en hiver. La protection contre l'éblouissement nécessite donc, lors du choix d'un tel vitrage, de trouver un compromis satisfaisant été/hiver.

Pour guider le choix, les fabricants fournissent :
– le « facteur de transmission lumineuse » compris entre 0 et 100, un facteur proche de 100 correspondant à un verre non solaire,
– le « facteur solaire », lui-même gradué entre 0 et 100, un facteur de 100 correspondant à un verre laissant pénétrer toute l'énergie thermique.

Un tel choix, sur la base de valeurs objectives, doit cependant intégrer le facteur subjectif, une teinte donnée pouvant, selon les sensibilités individuelles, être jugée rafraîchissante en été et lugubre en hiver.

Les vitrages à face externe formant miroir du côté le plus éclairé doivent être privilégiés lorsqu'il est nécessaire d'empêcher la vue vers l'intérieur (respect du critère de confidentialité, de l'intimité), tout en permettant la vue vers l'extérieur. Dans les périodes sombres ou de nuit, le respect de la confidentialité peut être assuré par la fermeture des stores mobiles ou des rideaux.

- Basés sur le même principe que les vitrages solaires, **les films solaires adhésifs** peuvent utilement compléter les vitrages traditionnels ou corriger des situations existantes. Ils agissent tant sur l'éblouissement que sur les apports thermiques. Tout comme les vitrages solaires, leur caractère permanent peut générer un assombrissement plus important, notamment en hiver ou par temps couvert.

- **Les stores mobiles**, de par leur variété et leurs possibilités de réglage en cours de journée, permettent d'éviter les inconvénients des vitrages solaires. À titre d'exemple, dans la gamme des tissés maillés de teinte sombre, un même degré de protection contre l'éblouissement pourra être choisi avec un maillage complètement occultant ou avec un maillage préservant à la fois une relative visibilité sur l'extérieur et une protection contre l'éblouissement. Le même résultat peut être obtenu avec un store à lames métalliques perforées pour des stores extérieurs exposés au vent.

Pour le confort thermique d'été, il convient d'accorder, chaque fois que possible, la priorité aux stores extérieurs dont l'échauffement sous le rayonnement solaire est dissipé hors bâtiment. Ces dispositifs réduisent d'au moins 80 % la pénétration de l'énergie thermique du rayonnement. Par exemple, pour une baie vitrée standard, le facteur solaire est de 95 %, et pour une baie vitrée équipée d'un brise-soleil extérieur, le facteur solaire descend à 5 %.

Les stores intérieurs doivent être réservés à des situations où leur échauffement d'été ne constitue pas une gêne (par exemple, lieu de passage, baie orientée au nord, cas où l'échauffement est dissipé par ventilation…). Ces dispositifs sont en effet beaucoup moins performants car toute l'énergie thermique du rayonnement pénètre à l'intérieur sur les stores qui la rediffusent à l'intérieur comme des radiateurs thermiques.

- **Les aménagements fixes formant brise-soleil** (auvents, ensembles de lames brise-soleil, voir photo 5.1) : pour être efficaces, il est nécessaire que les dimensions et le positionnement des auvents et autres lames brise-soleil fassent écran à la course du soleil pour ombrager efficacement les vitrages, ce qui est réalisable uniquement pour les vitrages situés au sud. Pour leur dimensionnement et leur positionnement, il convient alors de prendre en compte l'inclinaison du soleil par rapport à l'horizontale lorsqu'il se trouve au zénith (64° en été, 18° en hiver). Un dimensionnement judicieux protégera des surchauffes de juin à septembre et préservera les apports naturels de chaleur en hiver. Pour le brise-soleil, les lames étant pratiquement horizontales, la protection solaire permet de préserver une bonne visibilité sur l'extérieur.

© Xavier Dotal/Carsat Aquitaine/2021

Photo 5.1 – Dispositif de casquette brise-soleil.

Pour des fenêtres faisant face au soleil levant ou couchant et dans la mesure où ce type d'aménagement ne protège pas de l'éblouissement en début et en fin de journée, les autres modes de protection solaire doivent être privilégiés.

5.2.3 Éclairage artificiel

L'objectif de l'éclairage artificiel est de compenser les variations d'éclairement naturel tout en maintenant une distribution des éclairements adaptée à la nature de l'activité à effectuer. L'éclairage artificiel doit, en outre, être implanté de manière à réduire les rapports de luminance entre l'environnement, les prises de jour et les sources de lumière.

5.2.3.1 Niveaux d'éclairement adaptés aux tâches à effectuer

Lorsque la lumière naturelle est insuffisante (journée nuageuse, période nocturne) ou bien pour des activités à besoins visuels spécifiques, les niveaux d'éclairement doivent être obtenus par l'éclairage artificiel.

Les niveaux d'éclairement spécifiés dans le Code du travail sont les valeurs minimales à maintenir sur le plan de travail ou, à défaut, au sol. Ces valeurs sont souvent insuffisantes pour garantir un éclairage de qualité, car elles ne tiennent pas compte des besoins spécifiques du travail.

Le tableau 5.2 indique pour quelques types d'espaces, d'activités ou de locaux, les niveaux moyens d'éclairement à maintenir[10]. Pour atteindre ces objectifs, les niveaux d'éclairement doivent être initialement surdimensionnés afin de garantir les niveaux d'éclairement à l'usage, en tenant compte du vieillissement de l'installation et de son empoussièrement éventuel.

À titre indicatif, en l'absence d'un plan de maintenance, l'éclairement initial[11] doit correspondre à l'éclairement moyen à maintenir, multiplié par un facteur dit d'empoussièrement, à savoir :
– 1,5 fois l'éclairement moyen « à maintenir » pour des locaux dits à « faible empoussièrement » (par

10. Éclairement moyen à maintenir : c'est l'éclairement moyen, juste encore acceptable avant une intervention de nettoyage des luminaires, complétée ou non par le remplacement des lampes (NF EN 12464-1).
11. Éclairement initial : c'est l'éclairement lorsque l'installation est neuve, à savoir la valeur prise en compte dans les calculs de dimensionnement de l'installation (NF X35-103).

Tableau 5.2: Niveaux d'éclairement normalisés.

Espaces, activités, locaux concernés	Éclairements moyens à maintenir (d'après NF EN 12464-1)
Parc de stationnement de voitures	20 lux
Zones et couloirs de circulation piétonne - Escaliers	100 lux
Zones de circulation de véhicules - Quais de chargement	150 lux
Vestiaires - Lavabos - Cantines - Toilettes - Archives	200 lux
Usinage grossier de métaux avec tolérance ≥ 0,1 mm - Soudage Zones de manutention, d'emballage et d'expédition, d'entrepôts Travail sur écran d'ordinateur	300 lux
Bureaux - Salles de réunion - Infirmeries - Salles de soins - Cuisines de restauration Usinage, polissage de métaux avec tolérance < 0,1 mm Travail du bois sur machines - Caissières de magasins	500 lux*
Travaux de couture textile - Bureaux de dessin industriel	750 lux
Travaux de peinture sur véhicules	750 à 1 000 lux
Tâches de mise au point d'électronique - Travail manuel sur montres Stoppage sur tissus Contrôle des couleurs en polychromie d'impression	1 500 lux
Travaux de gravure sur acier et sur cuivre	2 000 lux
Certaines activités médicales	> 2 000 lux

*Pour l'éclairage de bureaux, il est recommandé de prévoir 300 lux en éclairage général avec un éclairage complémentaire de 200 lux par bureau pour ajustement selon la luminosité de l'écran (voir § 9.5.2).

exemple, bureaux, laboratoires, locaux hospitaliers, montages électroniques…),
– 1,75 fois l'éclairement moyen « à maintenir » pour des locaux dits à « empoussièrement moyen » (par exemple, boutiques, restaurants, entrepôts, magasins, ateliers d'assemblage…),
– 2 fois l'éclairement moyen « à maintenir » pour des locaux dits à « empoussièrement élevé » (par exemple, aciéries, fonderies, locaux de polissage, menuiseries…).

Pour réduire l'importance de l'éclairement moyen initial à installer, il est recommandé que le donneur d'ordres s'engage auprès de l'éclairagiste sur le respect du plan de maintenance (fréquence de nettoyage des lampes, des luminaires et des locaux, fréquence de remplacement des lampes). Cela autorise l'éclairagiste à définir un facteur de maintenance plus faible que le facteur d'empoussièrement précédent. Ce facteur de maintenance est lui-même égal au produit de plusieurs facteurs dont l'importance varie en fonction du temps écoulé entre deux nettoyages :
– un « facteur lampe » qui caractérise la décroissance du flux lumineux par vieillissement de la lampe,
– un « facteur luminaire » qui tient compte de la capacité de rétention des poussières, différente selon le type de luminaire,
– un « facteur local » qui tient compte de la réduction, par la poussière retenue, de la lumière réfléchie sur les parois du local,
– un « facteur de survivance des lampes » qui dépend de la fréquence de remplacement des lampes.

Les Led – Avantages et précautions particulières

Les Led (*Light emitting diodes* ou diodes électroluminescentes) présentent de multiples avantages sur les autres dispositifs d'éclairage, notamment les lampes à décharge (lampes à vapeur de sodium, lampes à vapeur de mercure, lampes aux halogénures métalliques) et les tubes fluorescents : pas de risque d'explosion ; pas de risque de bris de verre ; peu de risque de brûlure au contact ; pas d'émission de rayonnements ultraviolets ou infrarouges ; forte résistance aux chocs et aux secousses ; possibilité de gradation et d'intermittence de l'éclairage ; taille réduite qui permet de les intégrer dans de très petits espaces ; flux lumineux immédiatement disponible ; aucune dégradation par les allumages et extinctions fréquents.

Toutefois, en raison de leur forte luminance, les précautions suivantes doivent être respectées :
- Pour limiter les risques de lésions de l'œil, utiliser préférentiellement des Led ou luminaires à Led de groupe GR0 ou GR1 d'après la norme NF EN 62471 (les fabricants doivent obligatoirement indiquer le groupe auquel appartient le luminaire lorsqu'il est supérieur à GR1).
- Implanter les Led de façon à éviter les niveaux de luminance importants dans le champ visuel pour prévenir les risques d'éblouissement :
  – veiller à ce que les dispositifs susceptibles d'éblouir les opérateurs (Led nues directement visibles, plots lumineux en contremarche, Led dans le champ visuel lors du stockage en hauteur…) ne soient pas situés dans les zones de position habituelle du regard,
  – porter une attention particulière aux risques d'éblouissement par réflexion sur des surfaces lisses (métal, verre, miroir…).
- Vérifier in situ les effets éventuels du papillotement, qui peut être très variable d'un produit à l'autre et peut fausser la perception de l'environnement (notamment illusion d'une pièce immobile ou en mouvement lent alors qu'elle est en vitesse rapide, génératrice d'accidents).

Les autres critères contribuant à assurer un éclairage de qualité doivent être respectés : équilibre entre le niveau d'éclairement requis et la température de couleur selon le diagramme de Kruithof (figure 5.9), indice de rendu des couleurs… Voir aussi le dossier web INRS sur les Rayonnements optiques [6].

5.2.3.2 Éclairage général - Éclairage localisé : répartition et uniformité d'éclairement

Le rapport maximal admissible entre le niveau d'éclairement d'une zone de travail et l'éclairement général environnant est de 5.

Un facteur d'environ 1,5 représentant la plus petite différence significative dans la sensation d'un changement d'éclairement, la norme NF EN 12464-1 propose l'échelle suivante des éclairements recommandés : 20 - 30 - 50 - 75 - 100 - 150 - 200 - 300 - 500 - 750 - 1 000 - 1 500 - 2 000 - 3 000 - 5 000 lux.

Dans les zones occupées de façon continue, l'éclairement moyen à maintenir ne doit pas être inférieur à 200 lux.

Pour des tâches ne nécessitant pas la perception de détails, c'est-à-dire dont l'éclairement nécessite au plus 300 lux, l'éclairage artificiel peut être assuré entièrement par l'éclairage général.

Enfin, sur un même plan de travail, l'uniformité d'éclairement est l'objectif à viser.

5.2.3.3 Choix des lampes

Les critères les plus importants pour la prévention sont les suivants :

- **La durée de vie** (voir tableau 5.3) : éviter les durées courtes qui nécessitent des remplacements fréquents en retenant des durées de vie supérieures à 4 000 heures pour toute implantation en hauteur.

Tableau 5.3 : Caractéristiques indicatives des familles de lampes courantes.

Famille de lampes	Température de couleur (°K)	Rendu des couleurs (IRC)	Durée de vie économique (heures)	Observations
À incandescence standard	2 700	100	1 000	Lampes supprimées du marché.
À incandescence halogène basse tension	2 900 à 3 000	100	2 000	Énergivores, émission d'UV, quartz (risque de casse en cas de chute pendant la maintenance). Risque de brûlures.
À incandescence halogène très basse tension	3 000	100	2 000 à 4 000	
Fluorescentes à tube rectiligne	2 700 à 6 500	40 à 85	8 000	Non adapté pour un éclairage intermittent. Efficace pour un éclairage d'ambiance.
Fluorescentes compactes	2 700 à 4 000	85	8 000	
À décharge à vapeur de mercure	3 000 à 4 000	33 à 60	8 000	Non adapté pour l'éclairage intermittent – ne permet pas le rallumage à chaud (délais de 10 à 15 minutes avant rallumage). Possible source d'inflammation en cas de casse. Émission d'UV. Verre (risque de casse en cas de chute).
À décharge aux halogénures (iodures) métalliques	2 800 à 6 000	70 à 93	6 000	
À décharge à vapeur de sodium haute pression	1 700 à 2 500	20 à 65	8 000	
À décharge à vapeur de sodium basse pression	1 700 à 2 500	monochromatique*	12 000	
À induction	2 700 à 4 000	80	60 000	
Led (lampe à diode électroluminescente)	3 000 à 6 000	80	40 000	Adapté aux intermittences. Vieillissement prématuré dans les ambiances chaudes, chlorées ou en présence d'hydrocarbures.

* IRC très faible à réserver à l'éclairage extérieur vu que ce type de lampe restitue uniquement la couleur jaune et transforme les autres en une teinte blafarde.

• **Le rendu des couleurs** (capacité à restituer les couleurs obtenues à partir de la lumière du soleil, valeur maximale de l'IRC égale à 100) : exiger un indice IRC ou Ra d'au moins 80 dans les locaux de travail en réservant les lampes à décharge de vapeur de sodium monochromatiques (IRC très faible) éventuellement pour l'éclairage extérieur.

• **L'adaptation aux conditions d'utilisation :** certaines lampes ne sont pas adaptées pour un usage intermittent (allumages successifs de plus ou moins courte durée), émettent des UV pouvant altérer la vision pour un usage intensif et présentent des risques de casse en cas de chute selon le matériau utilisé (verre).

Les critères complémentaires de choix sont les suivants :

• **La température de couleur** (couleur apparente) : plus le niveau d'éclairement requis est élevé, plus il est recommandé une température de couleur élevée. Le diagramme en figure 5.9 précise la gamme de température de couleur recommandée en fonction du niveau d'éclairement requis. Pour une reconnaissance fidèle des couleurs, la température de couleur doit être située entre 4 000 K et 6 500 K.

• **L'indice de protection électrique :** il doit être adapté à l'activité professionnelle, notamment en cas de présence d'eau ou de poussières dans les locaux (code IP), ou de manipulation de pièces de grand gabarit (code IK de protection contre les impacts mécaniques externes). Veiller à informer l'éclairagiste de l'ambiance du local et des activités réalisées afin qu'il adapte le choix des lampes en conséquence.

5.2.3.4 Choix, implantation et disposition des luminaires

Les critères les plus importants pour la prévention sont les suivants :

• **Éviter l'éblouissement :** il convient à cet effet d'implanter le luminaire de sorte que la lampe ne soit pas visible en position assise dans un angle inférieur à 30° par rapport au regard horizontal (voir figure 5.10) ; à défaut, de le munir de grilles de défilement. Les Led doivent être munies de systèmes empêchant toute vision directe du faisceau émis (diffuseur, verre opale, grilles de défilement…). En présence d'écrans informatiques, choisir des luminaires à basse ou très basse luminance. Les tubes fluorescents seront placés de préférence perpendiculairement à la ligne de vision.

• **Permettre l'entretien des réflecteurs et le remplacement des lampes en sécurité :** pour éviter le risque de chute de hauteur et permettre que les opérations de maintenance courante s'effectuent depuis le sol, il convient d'installer des luminaires suspendus sur dérouleur, en particulier au-dessus des escaliers. Des luminaires encastrables traversant un plancher technique permettent une maintenance de plain-pied par le haut à partir d'un local qui doit lui-même être éclairé. Des luminaires pourvus d'éléments amovibles et articulés d'accès à la lampe ou dotés d'un dispositif évitant la chute d'objets en position d'ouverture facilitent eux-mêmes les opérations de maintenance.

• **Veiller à l'adaptation du luminaire au type de lampe utilisée.** Les lampes doivent être utilisées aux emplacements pour lesquels elles sont prévues (intérieur, extérieur, ambiance humide, poussié-

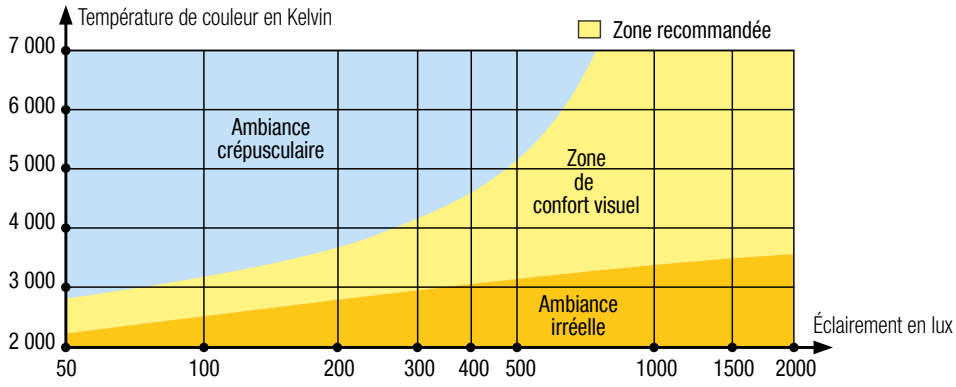

Figure 5.9 – Diagramme de Kruithof : ressenti selon le niveau d'éclairement et la température de couleur.

reuse…). Les systèmes de tubes à Led dits « rétrofit » installés en lieu et place des tubes fluorescents après adaptation électrique (suppression du starter ou du ballast) sont déconseillés en raison de l'absence de garantie sur la qualité et sur les performances de l'éclairage obtenu.

- **Disposer les luminaires en tenant compte de la position des opérateurs** à leur poste de travail pour éviter les effets d'ombre sur la zone de travail. La disposition des luminaires doit éviter les ombres portées par les installations aériennes (gaines, stockages en hauteur…). Les luminaires, plus nombreux et moins puissants à l'aplomb des aires et des allées à éclairer, doivent être hors d'atteinte des charges en cours de manutention et des moyens de manutention le cas échéant. Pour des hauteurs d'implantation supérieures à 4,5 m, les tubes fluorescents sont déconseillés en raison de leur faible portée ; leur préférer un ensemble de lampes à décharge parsemé de lampes à allumage instantané.
- **Éviter l'implantation des luminaires dans la ligne de vision habituelle** de l'opérateur. Lorsqu'il s'agit d'un plan de travail fixe éclairé par des tubes fluorescents, ces derniers doivent être implantés perpendiculairement à la ligne de vision.
- **Implanter les luminaires à Led de façon à éviter aussi toute réflexion** sur une surface réfléchissante située dans le champ de vision de l'opérateur à son poste de travail.

Le dispositif d'allumage/extinction associé doit être étudié pour répondre aux besoins fonctionnels : allumage/extinction par rangées parallèles aux fenêtres, par îlots de production…

5.2.4 Éclairage de sécurité

L'éclairage de sécurité est encadré par la réglementation relative aux circuits et installations de sécurité, ainsi que celle relative aux installations d'éclairage de sécurité. Il doit notamment :
– assurer l'éclairage d'évacuation,
– assurer l'éclairage d'ambiance ou anti-panique,
– permettre la mise en œuvre des mesures de sécurité et l'intervention éventuelle des secours.

Un éclairage par installation fixe est à prévoir dans tous les lieux de travail.

Les luminaires et alimentation électrique de l'éclairage de sécurité répondent aux deux cas de figures suivants.

5.2.4.1 Cas courant

L'éclairage de sécurité est assuré soit à partir de blocs autonomes, soit par des luminaires reliés à une source centrale. Lorsque l'installation d'éclairage de sécurité n'est pas réalisée en très basse tension de sécurité (TBTS), elle doit l'être suivant un schéma qui n'implique pas la coupure au

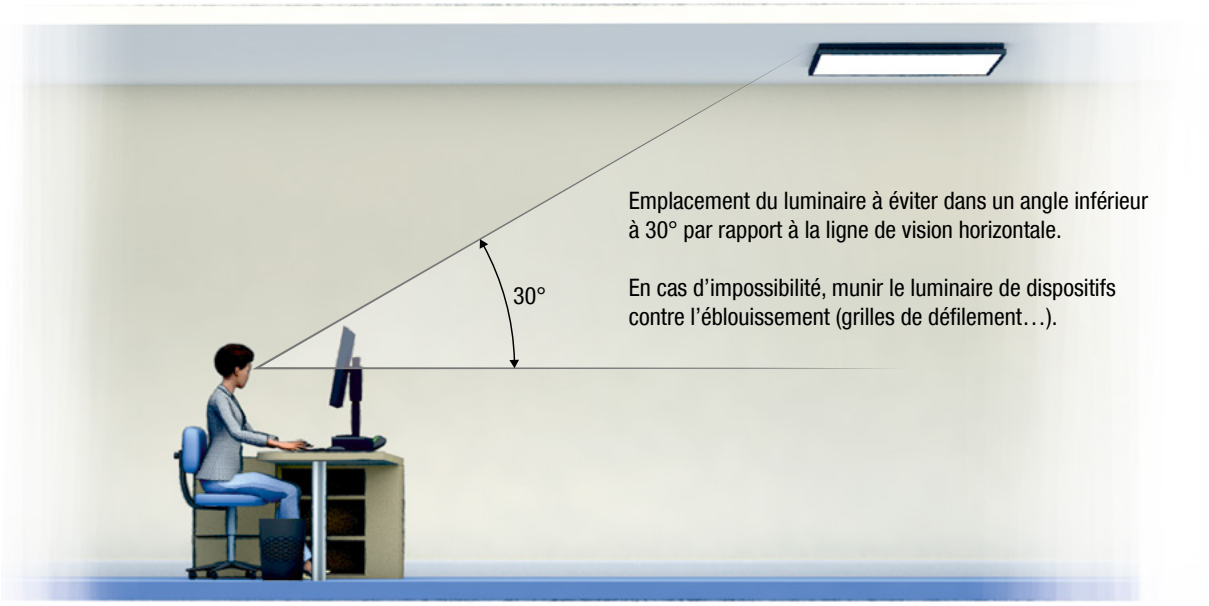

Figure 5.10 – Implantation des luminaires pour éviter l'éblouissement.

premier défaut (schéma IT, par exemple) et respecter la réglementation relative aux installations d'éclairage de sécurité pour les établissements relevant du Code du travail.

Les blocs autonomes d'éclairage de sécurité (BAES) doivent être conformes à la norme NF EN 60598-2-22 et aux normes de la série NF C71-8004. Ils doivent porter la marque NF AEAS ou autre certification équivalente. Les blocs autonomes d'éclairage d'évacuation seront de préférence équipés d'origine d'un système automatique de tests intégrés (SATI) conforme à la norme NF C71-820[12]. Les BAES fonctionnent en toute autonomie : si un bloc est défaillant, il ne provoquera pas la mise hors service de l'ensemble.

Si ces blocs doivent être installés en atmosphère explosive, ils doivent être conçus spécifiquement à cet effet (voir § 6.2.4).

5.2.4.2 Cas particulier d'installations alimentées par une source centralisée (Luminaires sur source centralisée - LSC)

Les luminaires doivent être conformes à la norme NF EN 60598-2-22, lorsque leur alimentation électrique est assurée par une source centralisée constituée :
– soit par des batteries réalisant une alimentation électrique de sécurité conforme à la norme NF EN 50171, dont la durée de fonctionnement autonome est d'au moins une heure,
– soit par un ou des groupes électrogènes pouvant assurer l'alimentation correcte de l'éclairage de sécurité dans un temps au plus égal à 15 secondes et qui doivent être conformes à la norme NF S61-940.

5.2.5 Éclairage extérieur

L'éclairage extérieur doit permettre d'assurer une visibilité suffisante. Il doit de plus être conçu de façon à ce que sa maintenance soit aisée et ne fasse pas courir de risque professionnel particulier.

5.2.5.1 Visibilité

Il faut retenir comme niveau moyen d'éclairement de référence celui d'un parc de stationnement de voitures, soit 20 lux selon la norme NF EN 12464-2.

Les zones de croisement des véhicules ou engins de manutention avec les cheminements piétons, les zones dangereuses (obstacles…) et, dans la mesure du possible, le cheminement allant des places de stationnement réservées aux personnes handicapées à l'entrée des bâtiments, doivent bénéficier d'un éclairement renforcé à 50 lux.

En cas de zone de travail en extérieur, il est recommandé d'assurer un niveau d'éclairement adapté à l'activité. Par exemple, pour du nettoyage grossier ou des tâches ne nécessitant pas de perception de détails, 50 lux sont suffisants ; en cas de lecture nécessaire (adresse, étiquette, instrumentation), un éclairage localisé peut être prévu pour assurer 100 à 150 lux sur la zone de lecture.

5.2.5.2 Maintenance

Les choix de conception doivent prendre en compte un accès aux luminaires sûr et facile pour leur nettoyage et le remplacement des lampes, tels que :
– des luminaires pour l'éclairement en façade installés en partie haute d'un bâtiment muni d'une toiture-terrasse de façon à y accéder par la toiture (voir figure 5.11). La crosse support de luminaire peut être installée sur des colliers permettant, après desserrage, le pivotement du luminaire vers l'intérieur du toit,
– des bornes d'éclairage de hauteur inférieure à celle d'un homme pour une maintenance depuis le sol,
– des luminaires de hauteur limitée à celle de la nacelle élévatrice ou de l'échafaudage dont dispose,

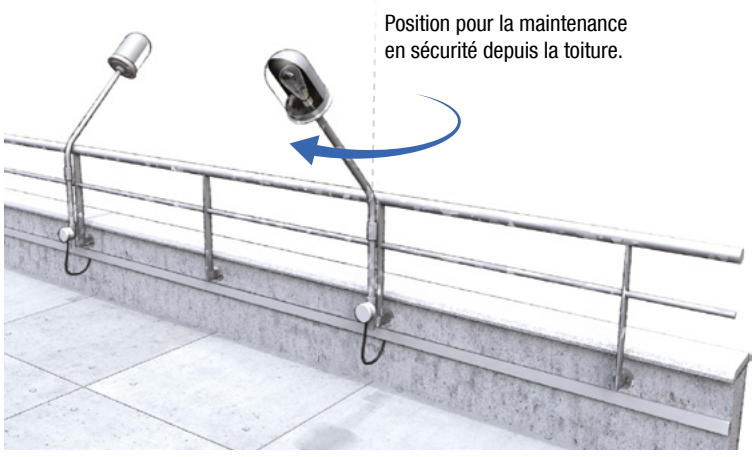

Figure 5.11 – Principe de luminaire pivotant pour le remplacement d'ampoule.

12. Ou à toute autre norme ou spécification technique équivalente d'un autre État appartenant à l'Espace économique européen.