

ÉCLAIRAGE NATUREL DANS LES LOCAUX PROFESSIONNELS

Cet article met en avant les caractéristiques de la lumière naturelle et de ses variations (qualité, puissance...) en rappelant les documents de référence, les façons de la capter et de la caractériser. Il met également l'accent sur plusieurs points de vigilance, comme les risques liés à la surchauffe, à l'éblouissement... Il revient aussi sur certains outils utilisés pour le dimensionnement des ouvertures lumineuses, en fonction notamment des activités exercées dans les locaux concernés.

BERNARD PAULE, ISCIA VOS
Estia,
Lausanne
(Suisse)

YANNICK SUTTER
École
nationale
supérieure
d'architecture
de Montpellier

La lumière naturelle, dont les variations offrent un éventail infini de nuances, est un élément clé de notre quotidien. Cette lumière gratuite offre par définition un rendu des couleurs parfait. Elle nous permet de percevoir les contours et les limites de notre environnement et d'apprécier la matérialité des objets qui le composent. L'alternance des périodes de jour et de nuit impacte la biologie humaine *via* les rythmes circadiens. Par conséquent, l'accès à la lumière naturelle est un facteur déterminant pour notre santé. Celle-ci doit cependant être maîtrisée à l'intérieur des bâtiments, afin de pouvoir accompagner hommes et femmes dans la réalisation des tâches correspondant à leur travail. Ceci suppose de considérer simultanément les aspects concernant le confort visuel et thermique ainsi que les demandes énergétiques associées aux besoins de lumière, de chaleur et de froid des bâtiments.

Documents de référence

L'éclairage naturel a fait l'objet de nombreuses recherches ayant donné lieu à de multiples publications [1-3]. La norme européenne NF EN 17037 fournit des recommandations pour optimiser l'éclairage naturel selon quatre critères d'évaluation [4] :

- la quantité de lumière disponible ;
- la vue extérieure ;
- l'exposition au soleil ;
- et la protection contre l'éblouissement.

Pour chacun de ces critères, cette norme édicte des recommandations indépendamment de l'affectation

des locaux et définit trois niveaux de performance : « minimal, moyen et élevé ». Chaque critère peut être validé selon une méthode simplifiée, ou une méthode avancée qui nécessite généralement des calculs plus détaillés. Cet article propose de passer en revue ces quatre thématiques, afin d'en faire ressortir les éléments clés, ainsi que des recommandations issues de retours d'expériences.

Quantité de lumière disponible

La performance visuelle, c'est-à-dire la capacité à distinguer et à traiter des informations, est liée au système visuel de l'observateur et à la quantité de lumière disponible. Plus le niveau de détail d'une tâche est élevé, plus l'apport de lumière doit être important. Ceci se traduit par les différents niveaux d'éclairage recommandés en fonction des activités [5]. Dans les locaux de travail, 300 lux à 750 lux sont généralement requis pour réaliser la plupart des activités professionnelles, tous types d'éclairage confondus.

Critères de la norme NF EN 17037

Le *Tableau 1* indique les valeurs d'éclairage en lumière naturelle recommandées par la norme pour les locaux équipés d'ouvertures en façade :

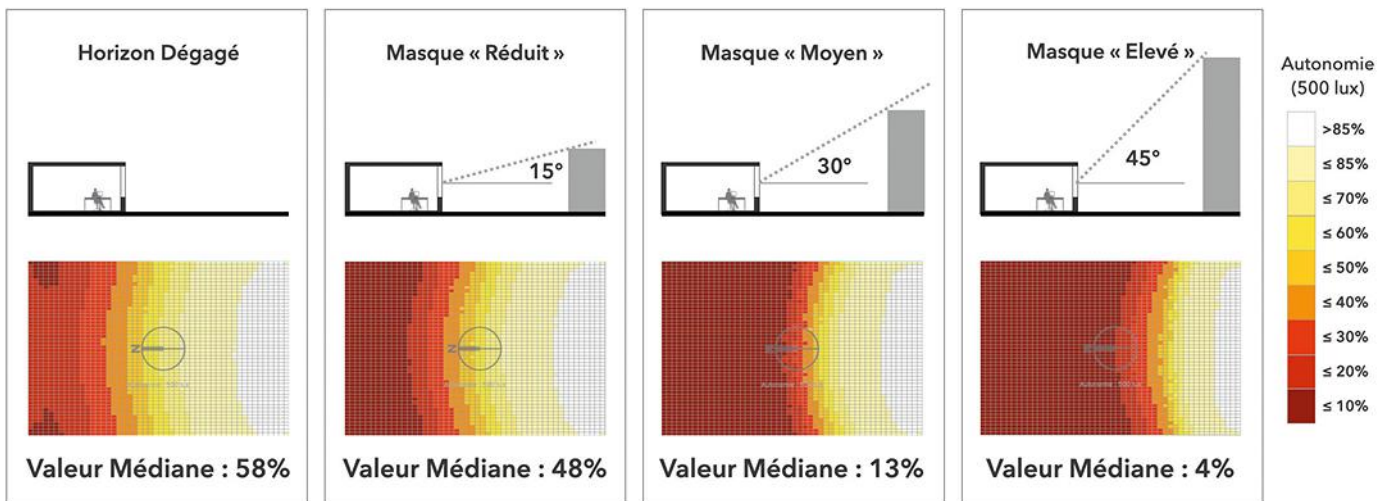
- pour « l'éclairage cible », l'objectif doit concerner 50 % de la surface du local ;
- pour « l'éclairage minimal cible », l'objectif porte sur 95 % de la surface du local.

Concrètement, le niveau moyen de l'éclairage cible suppose que 50 % de la surface du local bénéficie d'un éclairage de 500 lux pendant la moitié

NIVEAU DE RECOMMANDATION POUR L'ÉCLAIREMENT	ÉCLAIREMENT CIBLE	ÉCLAIREMENT MINIMAL CIBLE
Minimal	300 lux	100 lux
Moyen	500 lux	300 lux
Élevé	750 lux	500 lux

↑ **TABLEAU 1** Niveaux d'éclairage recommandés par la norme NF EN 17037 pour les locaux munis d'ouvertures en façade.





↑ FIGURE 1 Influence de la hauteur angulaire des masques extérieurs (obstacles extérieurs limitant la vue du ciel) sur l'autonomie en éclairage naturel. (Simulations : DIAL+, caractéristiques géométriques du local : L = 6 m, l = 4 m, h = 2,70 m). Une valeur médiane de 58 % indique que 58 % de la surface du local bénéficie d'un éclairement ≥ 500 lux pendant 50 % de la période considérée (de 7 h à 18 h).

des heures de jour. Ceci fait référence à la notion « d'autonomie en éclairage naturel », c'est-à-dire au temps pendant lequel l'éclairement intérieur est atteint grâce à la lumière naturelle seule. Si la valeur médiane de l'autonomie est supérieure à 50 % pour 500 lux requis, le niveau « moyen » est atteint. Dans la pratique, ces recommandations sont ambitieuses et le niveau « minimal » assurera un éclairage naturel raisonnable [6]. La méthode simplifiée de vérification mobilise le concept de facteur de lumière du jour (Cf. Article 2 pp. 40-48) et la méthode avancée nécessite le recours aux simulations dynamiques utilisant des données climatiques.

Influence de l'environnement extérieur

La quantité de lumière disponible à l'intérieur des locaux dépend fortement de l'environnement du bâtiment. La Figure 1 permet de comparer les valeurs d'autonomie en lumière diffuse en fonction de la hauteur angulaire des obstructions extérieures. Dans cet exemple, la valeur cible est de 500 lux sur

la période comprise entre 7 h et 18 h, avec les données climatiques de la ville de Bourges (coordonnées géographiques = 47° N, 2,4° E).

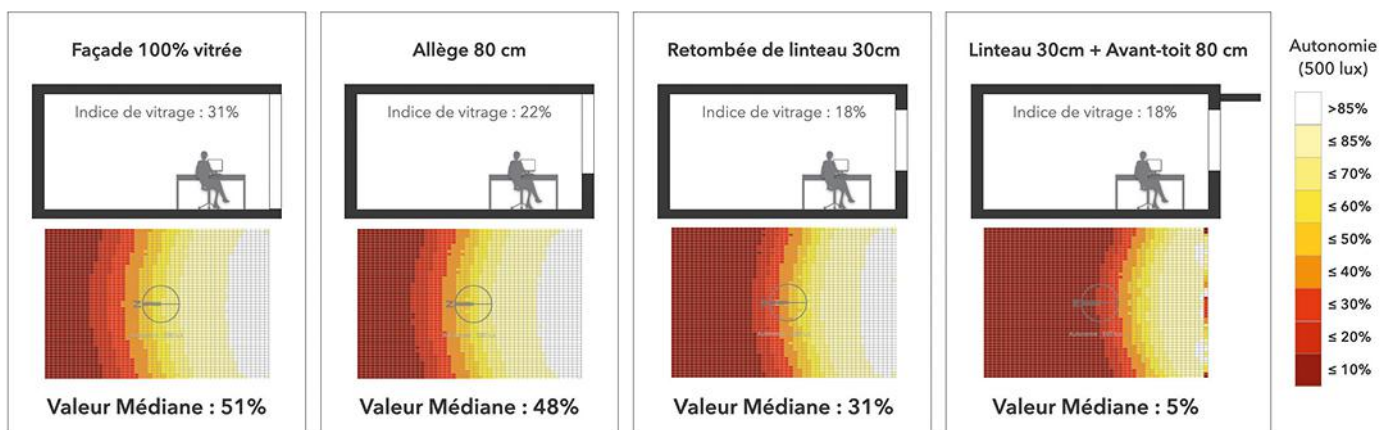
Les résultats affichés correspondent aux valeurs d'autonomie sur un plan de référence situé à 80 cm du sol. Ceci permet de visualiser pour chaque zone du local le pourcentage de temps pendant lequel l'éclairement requis est atteint.

Ceci montre qu'en environnement urbain dense, il est difficile d'éclairer suffisamment la partie arrière des locaux situés dans les étages inférieurs à l'aide de lumière naturelle.

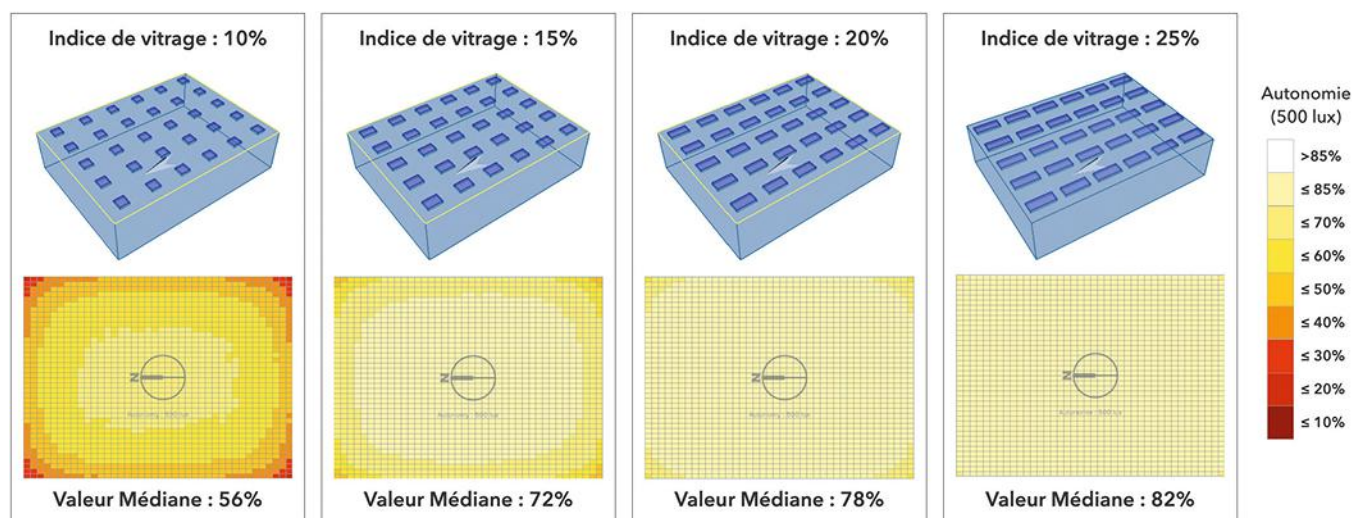
Influence de la configuration des locaux et des ouvertures

→ Ouvertures en façade

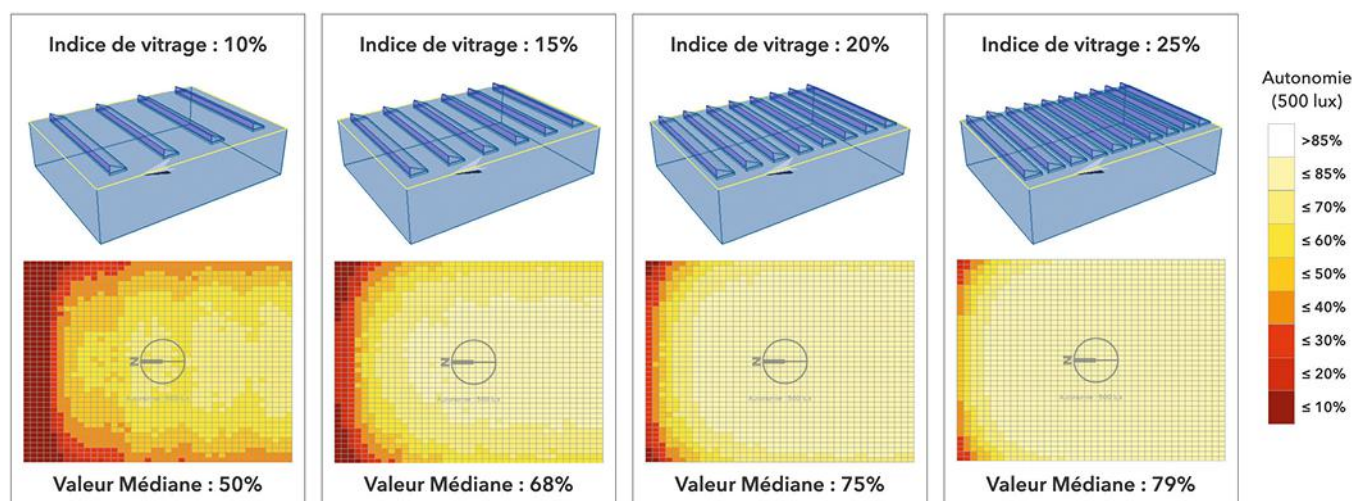
La Figure 2 permet de comparer les performances associées à quatre typologies d'ouvertures. La première configuration correspond à une façade entièrement vitrée. La deuxième est équipée d'un bandeau horizontal vitré, avec une allège de 80 cm.



↑ FIGURE 2 Influence de la configuration de la façade sur l'autonomie en éclairage naturel (500 lux) (vue en plan de l'autonomie en lumière du jour pour un éclairement de 500 lux. L = 6 m, l = 4 m, h = 2,70 m, masque d'horizon : 15°, simulations : DIAL+).



↑ FIGURE 3 Influence de l'indice de vitrage dans le cas d'ouvertures zénithales horizontales (vue en plan de l'autonomie en lumière du jour pour un éclairement de 500 lux / vitrages diffusants ; $T_v = 0,55$ / $L = 40$ m, $l = 30$ m, $h = 10$ m, masque d'horizon : 15° , simulations : DIAL+).



↑ FIGURE 4 Influence de l'indice de vitrage dans le cas de sheds verticaux orientés au nord (vue en plan de l'autonomie en lumière du jour pour un éclairement de 500 lux / vitrages clairs ; $T_v = 0,80$ / $L = 40$ m, $l = 30$ m, $h = 10$ m, masque d'horizon : 15° , simulations : DIAL+).

La troisième intègre une retombée de linteau de 30 cm. Enfin, la quatrième est équipée d'un débord extérieur de 80 cm. Les simulations sont réalisées avec un masque d'horizon de 15° (Cf. cas n°2 de la Figure 1).

La comparaison des deux premiers cas montre que la partie basse des vitrages a une influence limitée sur l'éclairage du plan de travail. L'observation des deux derniers cas montre que la présence d'éléments opaques en partie haute des ouvertures (retombée de linteau et avant-toit) induit une baisse significative des apports lumineux.

Les locaux industriels ont parfois la chance de pouvoir accéder directement au ciel par l'intermédiaire d'ouvertures en toiture ; ces ouvertures sont dites zénithales.

→ Ouvertures zénithales horizontales

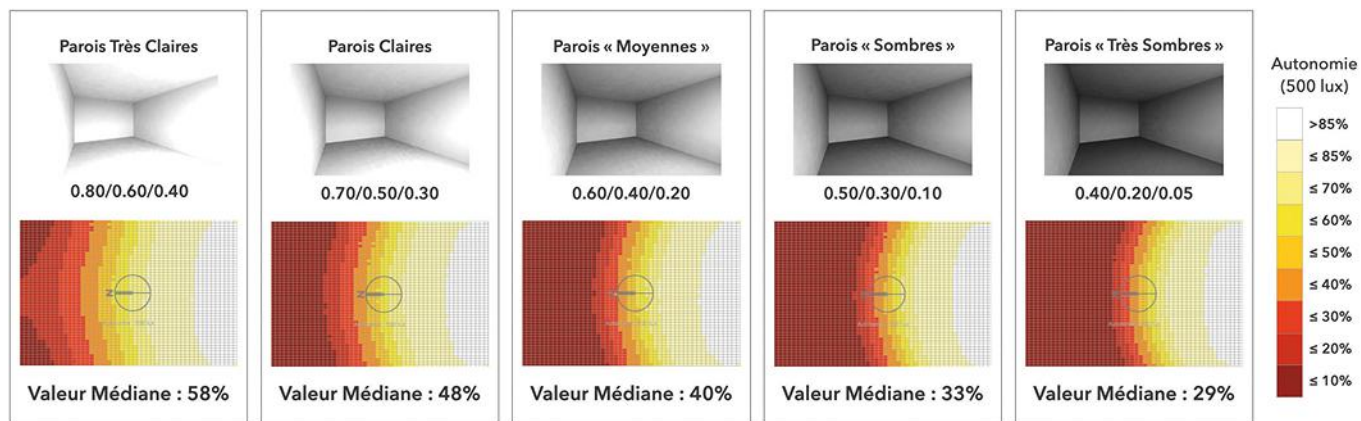
La Figure 3 montre que dans le cas d'ouvertures

zénithales horizontales, un indice d'ouverture de 10% (la surface vitrée représente 10% de la surface du local) permet à la valeur médiane de l'autonomie de dépasser 50% pour un éclairement requis de 500 lux. L'absence de masques liés à l'environnement explique l'efficacité de ce type d'ouvertures. Pour éviter le risque d'éblouissement lié aux pénétrations solaires directes, il est recommandé d'utiliser des vitrages diffusants (opaescents) qui induisent une réduction du facteur de transmission lumineuse T_v .

→ Ouvertures zénithales verticales (sheds)

L'architecture industrielle comporte de nombreux exemples de bâtiments équipés de sheds dont les vitrages verticaux sont orientés au nord. La Figure 4 montre que si cette option présente des performances légèrement plus réduites, le potentiel d'éclairage naturel reste très élevé et cette variante permet aux usagers d'avoir une vision directe du ciel grâce





↑ FIGURE 5 Influence de la clarté de parois intérieures sur la disponibilité de lumière naturelle (vue en plan). Les valeurs mentionnées en dessous des images correspondent aux facteurs de réflexion du plafond, des murs et du sol (ex. : 0.80/0.60/0.40 : indique que le plafond, les murs et le sol réfléchissent respectivement 80 %, 60 % et 40 % de la lumière qu'ils reçoivent) (images : Daylight Visualizer/simulations : DIAL+).

à l'utilisation de verres transparents. Par ailleurs, on note que la surface arrière des sheds offre une exposition très favorable à la mise en place de panneaux solaires photovoltaïques.

Le guide de l'éclairage naturel zénithal proposé par le GIF-Lumière (Groupement des fabricants et fabricants-installateurs de matériel coupe-feu et d'évacuation des fumées) est une ressource de référence pour la conception des espaces mobilisant les prises de jour en toiture [7].

→ Clarté des parois intérieures

La Figure 5 montre que la clarté des parois intérieures a une forte influence sur la disponibilité de lumière à l'arrière des locaux. Sauf exigence particulière liée à un usage spécifique, il est donc fortement recommandé de privilégier les parois claires.

Retours d'expérience et bonnes pratiques concernant la quantité de lumière

→ Caractéristiques des ouvertures

- La partie haute des ouvertures en façade est déterminante pour contribuer à l'éclairage des portions de l'espace éloignées des façades. Il est donc primordial de limiter au minimum les retombées de linteau.
- À l'opposé, les apports de lumière en provenance de la partie basse des façades (allège) ne contribuent que faiblement à l'éclairage du plan de travail, tout en augmentant les échanges thermiques.
- Pour les ouvertures en façade, un indice de vitrage (surface de verre rapportée à la surface du local) proche de 20 % est souhaitable.
- Pour les ouvertures en toiture, il est recommandé dans la plupart des cas de limiter l'indice de vitrage à 15 % afin de réduire les risques de surchauffe. En effet, les toitures, de par leur orientation horizontale, reçoivent beaucoup plus de rayonnement solaire direct en été, lorsque le soleil est haut. L'emploi de matériaux translucides peut également limiter l'éblouissement direct dans le cas des ouvertures horizontales.

Caractéristiques des parois

- La clarté des parois intérieures influence de façon très importante le potentiel d'éclairage naturel des parties situées à l'arrière des locaux.
- Le plafond, notamment, constitue une sorte de ciel intérieur, il est donc recommandé de le traiter avec la couleur la plus claire possible (un plafond sombre donne l'impression de réduire la hauteur du local et ne permet pas de mettre en œuvre un éclairage artificiel indirect).
- Cette recommandation est aussi valable pour les parois verticales qui, lorsqu'elles sont de teinte sombre, peuvent donner le sentiment de restreindre la taille des locaux.
- Le sol est la première surface sur laquelle la lumière naturelle se réfléchit. Sa couleur et sa clarté présentent une influence forte sur l'ambiance lumineuse d'un espace.

→ Position des postes de travail

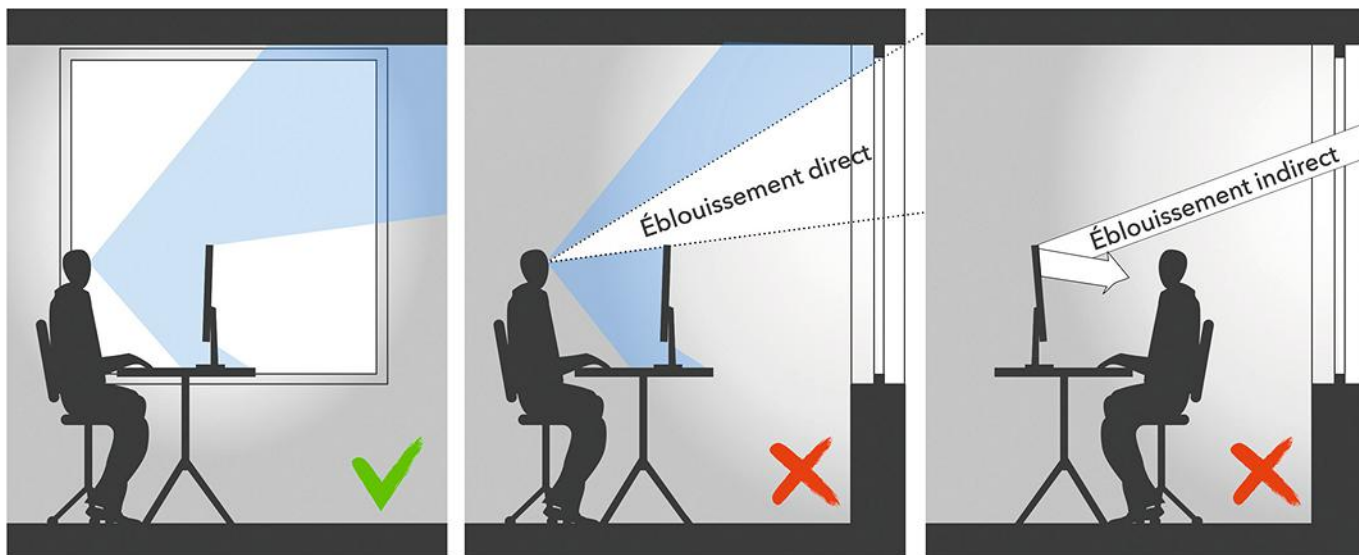
- Pour le travail sur ordinateur, les écrans doivent être positionnés perpendiculairement au plan des ouvertures de façon à limiter les risques d'éblouissement direct (présence du ciel dans l'axe du regard) et indirect (reflets sur les écrans ; Cf. Figure 6).
- Il est recommandé de ne pas positionner les postes de travail permanents à une distance supérieure à deux fois la hauteur du point haut des vitrages (Cf. Figure 7).

Vue sur l'extérieur

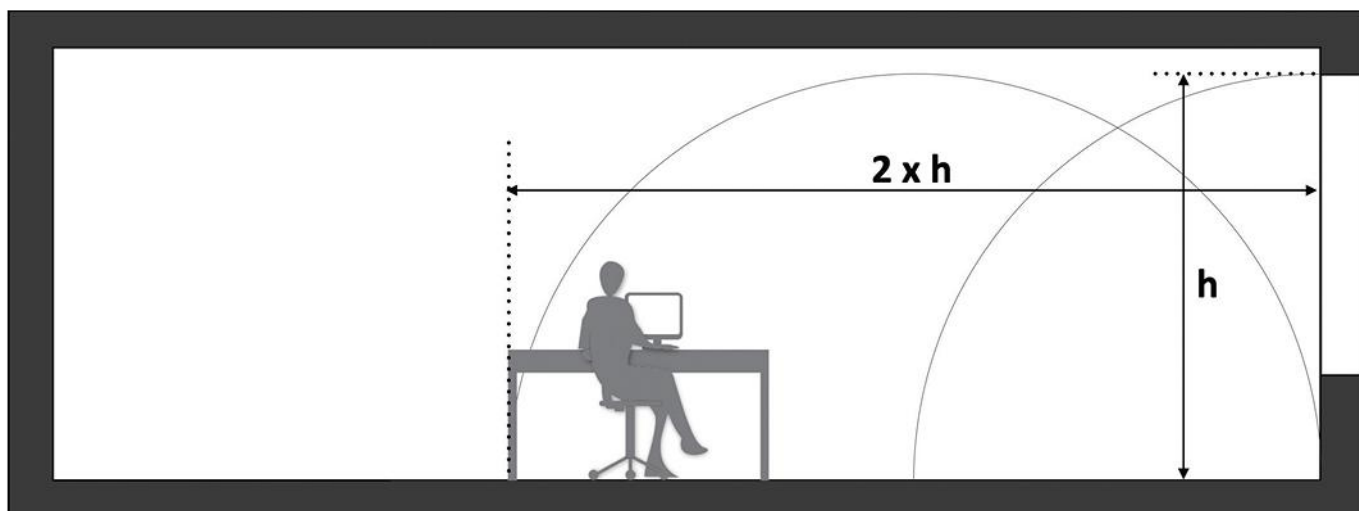
Bénéficier d'une vue vers l'extérieur est un impératif en ce qui concerne les locaux de travail [5]. La vue permet de se repérer dans l'espace, de rester connecté avec le déroulement de la journée et les conditions climatiques mais aussi de reposer les yeux. En effet, la vision lointaine permet de libérer les muscles ciliaires qui contrôlent la courbure du cristallin et donc de mettre l'œil en repos.

Critères de la norme NF EN 17037

La norme NF EN 17037 propose une analyse de la vue vers l'extérieur selon trois critères [4] :



↑ FIGURE 6 Recommandation relative à la position des postes de travail sur écran.



↑ FIGURE 7 Recommandation quant à la distance maximale d'implantation des postes de travail permanents.

- l'angle de vision horizontal ;
- la distance par rapport aux obstacles extérieurs ;
- les composantes du paysage observables (ciel, paysage urbain et sol ; Cf. Figure 9).

Le Tableau 2 indique les exigences requises pour atteindre les différents niveaux de recommandation.

Influence des paramètres environnementaux et architecturaux

→ **Influence de l'implantation des ouvertures**

L'angle de vision horizontale vers l'extérieur dépend fortement de la taille et de la distribution des ouvertures. La Figure 8 montre, pour un local donné, la cartographie de la vue horizontale vers

l'extérieur associée à trois configurations d'ouvertures typiques.

On peut conclure de cette analyse que, plus un espace est profond, plus la surface d'ouverture doit couvrir sa façade en largeur pour être conforme à la norme NF EN 17037.

→ **Influence de l'environnement**

Comme évoqué précédemment, l'environnement extérieur du bâtiment conditionne fortement le potentiel de vue. En milieu urbain, le niveau « élevé » selon la norme NF EN 17037 (accès aux trois composantes : ciel, paysage et sol) est parfois difficile à atteindre (Cf. Figure 9).

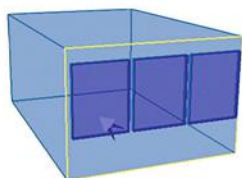
NIVEAU DE RECOMMANDATION POUR LA VUE	ANGLE DE VISION HORIZONTAL	DISTANCE DE LA VUE EXTÉRIEURE	NOMBRE DE COMPOSANTES À OBSERVER POUR 75% DE LA SURFACE UTILE
Minimal	≥ 14°	≥ 6 m	Paysage
Moyen	≥ 28°	≥ 20 m	Paysage + Sol ou Ciel
Élevé	≥ 54°	≥ 50 m	Paysage + Sol + Ciel

← TABLEAU 2 Évaluation de la vue sur l'extérieur depuis une position donnée [4].

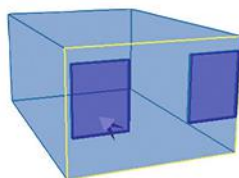


Angle de vision horizontale

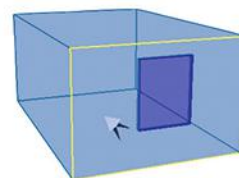
■ >54° ■ >28° ■ >14° ■ <14°



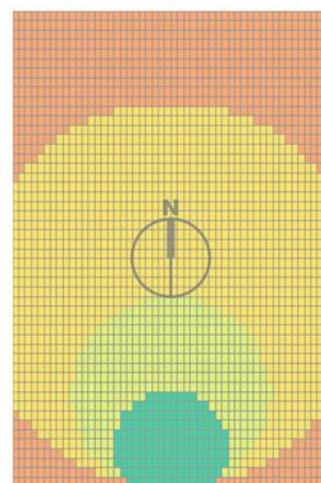
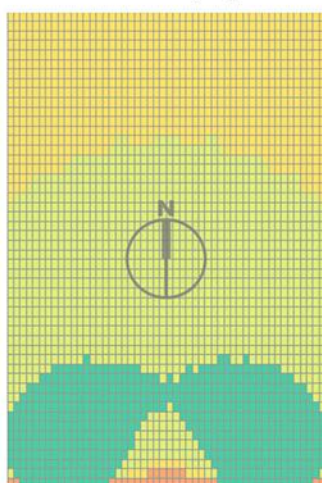
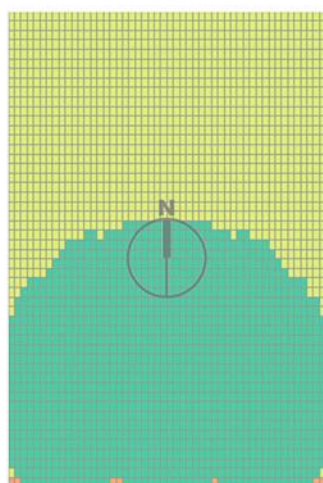
Bandeau vitré horizontal



Alternance surfaces opaques & vitrées



Ouverture ponctuelle



↑ FIGURE 8
Exemple de caractérisation de la vue horizontale pour différentes configurations d'ouvertures (vues en plan : la couleur de chaque maille indique l'angle de vision horizontale vers l'extérieur depuis chaque emplacement dans le local).

Retours d'expérience et bonnes pratiques concernant la vue extérieure

→ Géométrie des ouvertures

- Les typologies de façades basées sur une alternance de bandes verticales opaques et vitrées se traduisent par un fractionnement important de l'angle de vision horizontale [8]. De plus, cette configuration risque d'entraîner un éblouissement d'inconfort lié à de forts contrastes de luminance.
- À l'inverse, les ouvertures en bandes horizontales favorisent une vue large et panoramique du paysage environnant.

→ Ressenti des utilisateurs

- Le fait de pouvoir être observé depuis l'extérieur est parfois mentionné comme une contrainte par les usagers. Il arrive en effet que les façades 100 % vitrées soient obstruées par des éléments de mobilier ou bien que les rideaux ou les protections solaires soient abaissés même lorsque le soleil est absent, ce qui péjore l'accès effectif à la lumière du jour.
- Pour les bâtiments de grande hauteur, la sensation de vertige peut être accentuée par l'absence d'allèges opaques et inciter les usagers à décaler leur poste de travail vers l'intérieur.
- Les façades 100 % vitrées favorisent les échanges thermiques (augmentation du risque de surchauffe en été et de sensation de froid en hiver).

Exposition au soleil

Critères de la norme NF EN 17037

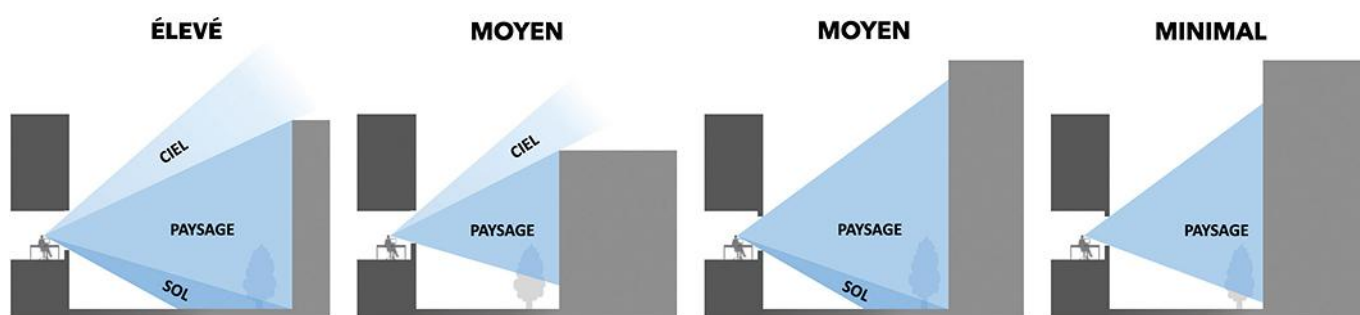
Les pénétrations solaires à l'intérieur d'un espace constituent indiscutablement un point positif qui contribue à l'agrément visuel et aux apports de chaleur en hiver. Cependant, la présence de rayons solaires directs dans le champ visuel n'est pas toujours adaptée dans un espace de travail, dans la mesure où les niveaux de luminance en jeu induisent un potentiel d'éblouissement élevé. Par ailleurs, le contrôle des gains solaires en période estivale représente un enjeu primordial pour maîtriser le risque de surchauffe.

La norme NF EN 17037 propose de valoriser le nombre d'heures d'exposition au soleil direct pour la période hivernale, à une date comprise entre le 1^{er} février et le 21 mars. Les différents niveaux de performance sont présentés dans le *Tableau 3*.

Retours d'expérience et bonnes pratiques concernant l'exposition au soleil

→ Protections solaires

- Les protections solaires fixes ne constituent pas à elles seules une réponse adéquate pour contrôler les rayons solaires. Il est donc indispensable de bénéficier de systèmes mobiles.
- Compte tenu de la gestion parfois irrégulière des utilisateurs, la motorisation et l'automatisation des protections solaires mobiles peuvent



↑ FIGURE 9 Représentation simplifiée du nombre de composantes potentiellement vues depuis l'intérieur d'un local.

NIVEAU DE RECOMMANDATION POUR L'EXPOSITION AU RAYONNEMENT SOLAIRE DIRECT	EXPOSITION AU RAYONNEMENT SOLAIRE DIRECT
Minimal	1,5 h
Moyen	3 h
Élevé	4 h

← TABLEAU 3 Recommandations relatives à l'exposition au rayonnement direct [4].

être utiles pour optimiser la gestion des apports solaires et lumineux [9]. L'automatisation permet notamment de réduire l'occultation lorsque le rayonnement direct n'est plus présent, et que l'occupant ne le remarque pas [10].

- Dans la pratique, les automatismes privilégiant quelques mouvements par jour lorsque les usagers sont absents constituent une réponse efficace et bien acceptée. Ces mouvements doivent être adaptés en fonction de l'orientation et de la saison afin de contribuer efficacement à la gestion du climat intérieur.

→ **Ventilation naturelle**

- Il est important de s'assurer que les protections solaires ne constituent pas un obstacle à la ventilation naturelle.
- À ce titre, les brise-soleil à lames orientables sont favorables (notamment pour la ventilation nocturne) dans la mesure où ils assurent une protection contre la pluie tout en laissant passer l'air à travers les lames.
- À l'inverse, les stores verticaux en toile peuvent constituer un obstacle au passage de l'air et favoriser la création d'un « bouchon » d'air chaud devant la fenêtre.

Protection contre l'éblouissement

En pratique, le risque d'éblouissement est renforcé par trois facteurs :

- la présence de fortes luminances dans l'axe du regard (centre de la scène) ;
- les écarts de luminances importants dans une même scène visuelle ;
- la présence de fortes luminances dans la partie basse du champ visuel.

Dans la pratique, la maîtrise de l'éblouissement

doit être assurée par les protections solaires mobiles. Leur présence est indispensable sur toutes les façades exposées au rayonnement direct afin de pouvoir adapter les conditions de travail en fonction des conditions climatiques et de la nature des activités pratiquées.

Critères de la norme NF EN 17037

La méthode détaillée de caractérisation de l'éblouissement selon la norme NF EN 17037 mobilise l'indicateur DGP (de l'anglais *daylight glare probability*) [11]. Celui-ci traduit, pour une scène lumineuse donnée, le pourcentage de personnes qui seront potentiellement éblouies. Pour calculer cet indicateur, plusieurs approches sont possibles. Sur site, il convient de réaliser plusieurs photos de la même scène avec différentes combinaisons d'indices d'ouverture et de temps d'exposition, afin de capter toute la dynamique lumineuse de la scène (images HDR : *High dynamic range*). En phase conception, il est possible de réaliser des simulations à l'aide de logiciels spécialisés [12]. Ces procédures sont complexes et peu adaptées au quotidien.

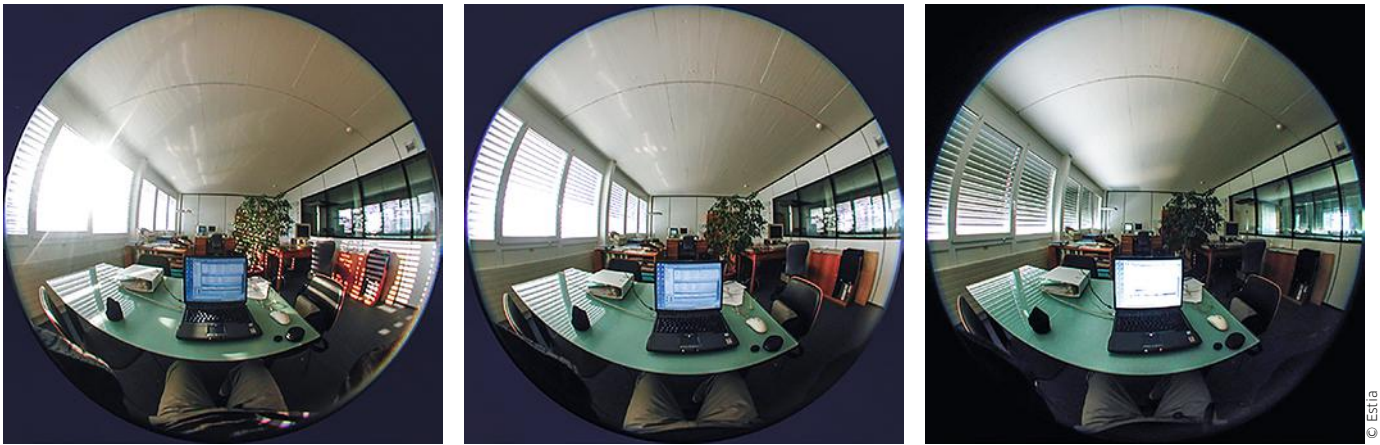
La méthode simplifiée de vérification de ce critère varie en fonction du type de protection solaire. On peut retenir que, dans le cas de stores opaques, le niveau de performance « élevé » est atteint pour ces dispositifs, dès lors qu'ils sont contrôlables par les occupants et qu'ils permettent de masquer totalement la vue du soleil lorsqu'ils sont en position fermée.

Retours d'expérience et bonnes pratiques concernant le contrôle de l'éblouissement

→ **Stores en toile**

Le choix d'un store en toile doit tenir compte des observations suivantes :





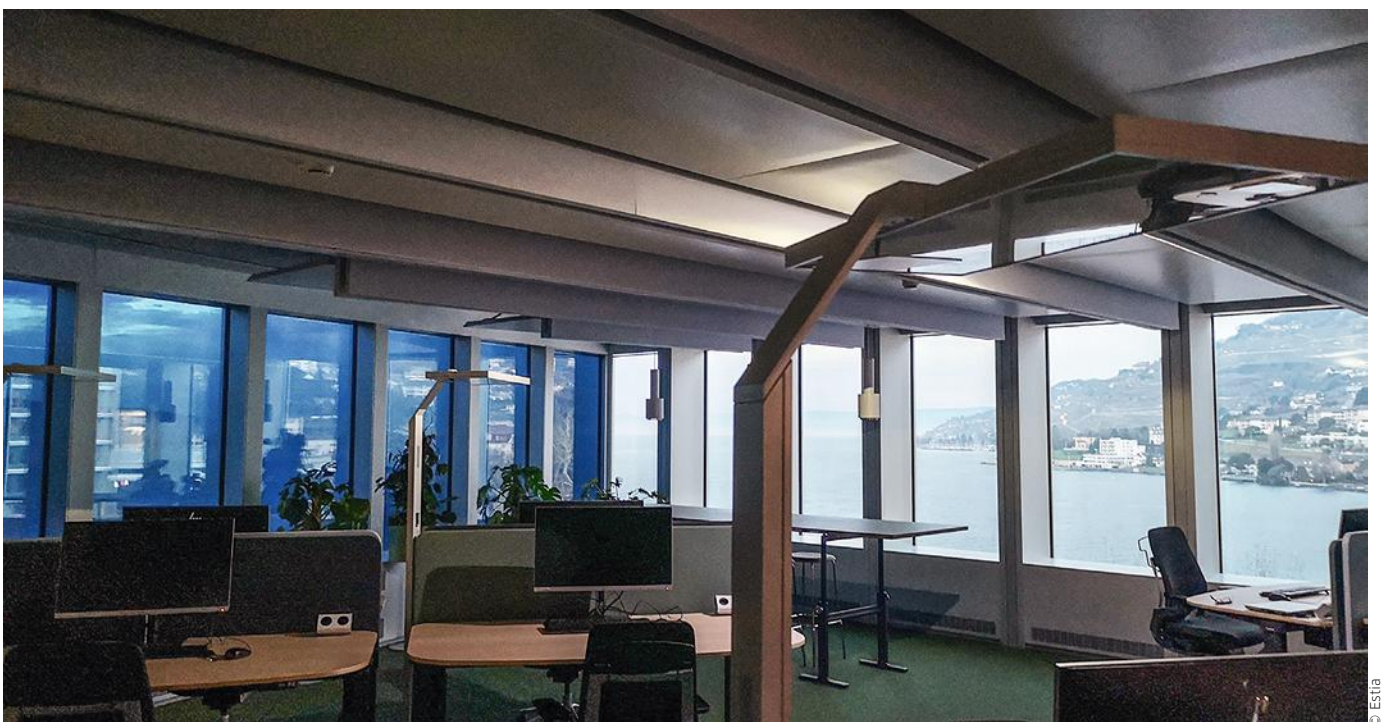
↑ FIGURE 10 Effets lumineux obtenus en fonction de l'inclinaison des lames. À gauche : le soleil pénètre à travers les lames et provoque un risque d'éblouissement élevé. Au centre : les lames sont inclinées de façon à bloquer les rayons directs et créent une ambiance tamisée. À droite : les lames en position fermée orientées vers le plafond laissent passer une partie des rayons et illuminent le plafond.

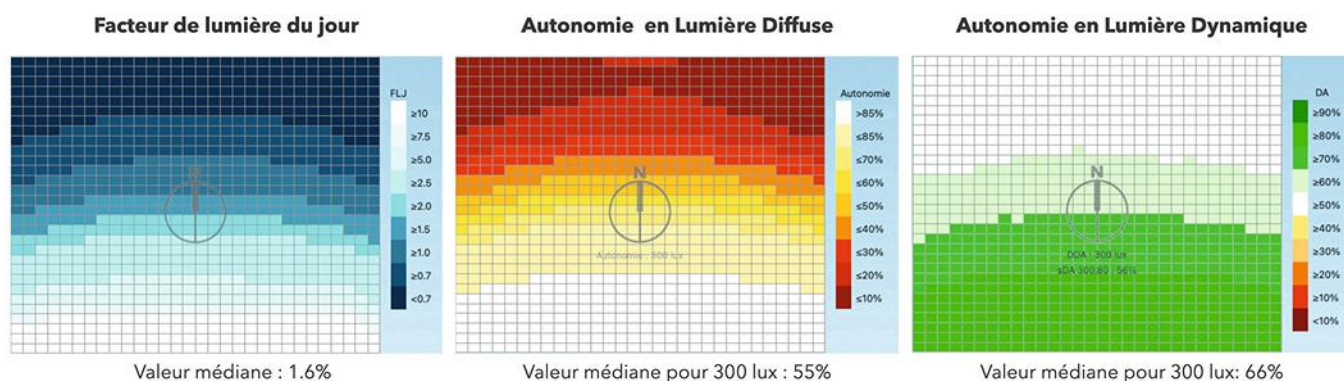
↓ FIGURE 11 Photographie d'un local situé dans l'angle d'un bâtiment et dont les façades sont équipées de verres électrochromes. Sur la partie gauche, les vitrages sont teintés au maximum : $TL \approx 1\%$, tandis qu'à droite, les vitrages sont à l'état clair : $TL \approx 56\%$.

- plus la couleur de la toile est claire, plus la transmission lumineuse est élevée (effet de diffusion à travers le tissu) ;
- plus le taux de perforation est important, plus la vision vers l'extérieur est préservée, mais plus le risque d'éblouissement est élevé (pour les tâches exigeantes, le taux de perforation ne devrait pas excéder 3 %) ;
- plus la couleur de la face intérieure de la toile est sombre, plus la vision vers l'extérieur est favorisée ;
- plus la couleur de la face extérieure de la toile est claire, plus l'absorption des rayons solaires est faible.

→ Brise-soleil à lames orientables

Les brise-soleil à lames orientables (BSO) constituent un outil très complet pour contrôler les risques d'éblouissement. Leur principal avantage réside dans la possibilité d'adapter l'inclinaison des lames en fonction de la hauteur du soleil, ce qui permet de ne pas bloquer complètement les apports lumineux et de préserver une partie de la vue vers l'extérieur (Cf. Figure 10). L'utilisation de lames claires permet de favoriser la réflexion de la lumière en direction du plafond et d'éviter que l'absorption des rayons solaires ne se traduise par un échauffement important du store. On évitera également le recours aux





finitions de type « brossé » qui peuvent créer des lignes éblouissantes.

→ **Vitrages à teinte variable**

Les vitrages à teinte variable (technologies électrochrome ou thermochrome) permettent de moduler la transmission du verre en fonction de l'exposition au soleil, tout en préservant la vue vers l'extérieur. Concrètement, le vitrage peut s'assombrir ou s'éclaircir, ce qui permet de réguler de façon souple les apports solaires et lumineux (Cf. Figure 11). Concernant les verres électrochromes, les performances des produits disponibles sur le marché actuellement montrent que cette technologie permet de résoudre à la fois la problématique des risques de surchauffe et celle de l'éblouissement. En effet, pour une configuration en double vitrage, la transmission lumineuse (coefficient TL) peut varier entre 0,59 (état clair) et 0,01 (état teinté maximal), tandis que la transmission énergétique (coefficient g) varie entre 0,40 (état clair) et 0,03 (teinte maximale). Cette technologie offre un potentiel intéressant dans le cadre de la rénovation de bâtiments équipés de verres teintés ou réfléchissants, ou bien dans le cas où la façade ne peut pas être modifiée.

→ **Configuration des locaux**

- S'assurer que la direction du regard est parallèle au plan de la façade vitrée.
- Pour le travail sur écran ainsi que les locaux scolaires, éviter les locaux d'angle vitrés sur deux faces contiguës.
- Éviter l'emploi de matériaux brillants pour les revêtements intérieurs.
- Les éléments présents dans l'environnement extérieur peuvent constituer des sources d'éblouissement (façades vitrées, véhicule en stationnement, etc.), ce qui justifie la présence de protections solaires mobiles, y compris sur des façades peu exposées au rayonnement direct.
- Selon le type de stores, la protection contre l'éblouissement peut entraîner une variation importante de l'autonomie en lumière du jour.

- Le fait de travailler avec un écran en mode « sombre », qui se traduit par une baisse de la luminance des informations affichées, induit parfois une tendance à baisser les protections solaires afin de réduire les contrastes dans le champ visuel. Ce comportement réduit encore l'apport de lumière naturelle dont bénéficie l'utilisateur et peut avoir des effets préjudiciables à la santé du salarié.

Outils de simulation numérique

De nombreux outils de simulation numérique sont actuellement disponibles sur le marché [12-14]. Ils permettent de calculer la disponibilité de la lumière naturelle à l'intérieur des locaux à l'aide d'algorithmes de lancer de rayons [15].

Parmi les indicateurs permettant de quantifier les apports de lumière naturelle, sont mentionnés notamment :

- le facteur de lumière du jour FLJ (Cf. Figure 12, à gauche) : cet indicateur définit, pour un ciel couvert standard (correspondant au modèle CIE ou Moon & Spencer : la luminance du ciel au zénith et égale à trois fois la luminance à l'horizon), le ratio entre l'éclairement sur le plan de référence à l'intérieur d'un local et l'éclairement sur le plan horizontal extérieur en site dégagé. Même si cet indicateur ne prend en compte ni l'orientation des ouvertures ni le climat du lieu où se situe le projet, il est utile pour comparer rapidement différentes variantes d'un même local ;
- l'autonomie en lumière diffuse (en anglais : *diffuse daylight autonomy* ; Cf. Figure 12, au centre) : cet indicateur utilise les résultats de FLJ pour calculer l'éclairement à l'intérieur du local en considérant l'éclairement horizontal diffus extérieur sur la base des données météorologiques du lieu d'implantation ;
- l'autonomie en lumière dynamique (en anglais : *diffuse daylight autonomy* ; Cf. Figure 12, à droite) : cet indicateur est basé sur une simulation dynamique annuelle (données climatiques horaires). Il permet de prendre en compte les apports de lumière directe du soleil. Certains

↑ **FIGURE 12**
Exemples de résultats de simulations de la quantification des apports de lumière naturelle pour un local sans stores via différents indicateurs (données climatiques de Bourges).



LIEUX DE TRAVAIL	CARACTÉRISTIQUES	CONTRAINTES	RECOMMANDATIONS	PROTECTIONS SOLAIRES
Bureaux	• Travail à l'écran	• Éblouissement direct • Reflets sur les écrans • Locaux parfois profonds (open spaces)	• Pas de fenêtres dans l'ergorama • Pas de fenêtres dans le dos	• Mobiles • Maintien de la vue vers l'extérieur • Gestion par zone • Resets quotidiens
Écoles	• Vision du tableau • Lecture/écriture sur papier	• Profondeur importante	• Parfois très claires • Pas de parois vitrées dans le dos des élèves	• Mobiles • Maintien de la vue vers l'extérieur • Resets quotidiens
Industrie	• Travail sur machine	• Dangers liés à l'éblouissement • Éclairage adapté aux exigences de précisions	• Lumière zénithale uniforme • Quelques points de vue vers l'extérieur	• Mobiles • Resets quotidiens
Hôpitaux	• Longues périodes dans locaux aveugles (circulations)	• Pas de contact visuel avec l'extérieur • Faible exposition à la lumière du jour • Préserver l'intimité dans les chambres	• Points de vue vers l'extérieur dans les circulations • Salles de pause vitrées sur l'extérieur • Hauteur d'allèges -70 cm	• Maintien de la vue vers l'extérieur
Commerces	• Caisses	• Pas de vue vers l'extérieur • Pas de lumière du jour	• Quelques points de vue vers l'extérieur • Éclairage circadien • Salles de pause vitrées sur l'extérieur	–
Restauration	• Travail en cuisine	• Pas de contact visuel avec l'extérieur • Faible exposition à la lumière du jour	• Points de vue vers l'extérieur • Salles de pause vitrées vers l'extérieur	• Maintien de la vue vers l'extérieur

↑TABLEAU 4
Aperçu des contraintes et recommandations pour différentes activités de travail représentatives sur la base de retours d'expériences de projets (données Estia).

logiciels permettent d'intégrer la position des protections solaires en fonction du flux énergétique incident, ce qui donne une indication plus précise de la contribution à l'éclairage naturel des locaux. Le temps de calcul nécessaire pour ces simulations est plus important.

Points de vigilance concernant les outils de simulation

- Lorsque les modèles 3D sont complexes, la réalisation de simulations numériques peut nécessiter un temps de calcul élevé. Nous recommandons de procéder à des simulations sur des zones « représentatives » des bâtiments afin de

permettre la comparaison de différentes options dès la phase d'avant-projet.

- Les images de synthèse générées dans le cadre des concours d'architecture sont parfois « trompeuses » et peuvent induire des représentations abusives de la disponibilité de lumière naturelle [16].

Prise en compte des usages

Les exigences en matière d'éclairage naturel sont intimement liées aux différents types d'activités pratiquées dans les locaux. Le Tableau 4 donne un aperçu des points à considérer pour quelques affectations typiques. ●

BIBLIOGRAPHIE

[1] FENÊTRES : DIMENSIONNEMENT ET PERFORMANCES. *Cahiers techniques du moniteur des travaux publics et du bâtiment*, 2011, 5632.

[2] PAULE B., SUTTER Y., COURRET G. – Solutions de conception pour l'éclairage naturel. *Techniques de l'ingénieur*, 2020, C3316 V3.

[3] SUTTER Y. (DIR.) – *Guide Biotech – Éclairage naturel*. ICEB/ARENE le-de-France, 2014.

[4] NORME NF EN 17037 – *Lumière naturelle dans les bâtiments*. Afnor, 2021.

[5] NORME NF EN 12464-1 – *Lumière et éclairage – Éclairage des lieux de travail – Partie 1 : lieux de travail intérieurs*. Afnor, 2021.

[6] PAULE B., FLOURENTZOS F. – *Perspective on daylight provision according to the new European standard "Daylight in Buildings" (EN 17037)*. In: *Proceedings of the CISBAT Conference*, Lausanne, 2019.

[7] GIF LUMIÈRE – *Le guide de l'éclairage naturel zénithal*. 2018. Accessible sur :

https://www.gif-lumiere.com/wp-content/uploads/2018/06/Guide-Eclairage-GIF-Lumiere_WEB.pdf

[8] PAULE B. ET AL. – *How current trends in the design of facades influence the functional quality of interior spaces*. In: *Proceedings of the CISBAT conference*, Lausanne, 2015.

[9] PAULE B. ET AL. – *Shading device control: effective impact on daylight contribution*. In: *Proceedings of the CISBAT conference*, Lausanne, 2015.

[10] SUTTER Y. ET AL. – *The use of shading systems in VDU task offices: a pilot study*. *Energy and buildings*, 2006, 38, 7, pp. 780-789. Accessible sur : <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.010>

[11] WIENOLDJ. ET AL. – *Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras*. *Energy and buildings*, 2006, Vol. 38, 7, pp. 743-757. Accessible sur : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778806000715>

[12] SITE WEB RADIANCE [consulté en mars 2025] – Accessible sur : <https://www.radiance-online.org/>

[13] SUTTER Y. ET AL. – *Outils et méthodes pour l'éclairage naturel*. *Techniques de l'ingénieur*, 2020, C3315.

[14] SITE WEB ENERGIE PLUS [consulté en mars 2025] – Accessible sur : <https://energieplus-lesite.be/theories/eclairage12/physique-lumiere/simuler-l-eclairage/>

[15] WARD G.J. – *The RADIANCE lighting simulation and rendering system*. Lawrence Berkeley laboratory, 1994. Accessible sur : <https://radsite.lbl.gov/radiance/papers/sg94.1/Siggraph1994a.pdf>

[16] PAULE B., PEREIRA J. – *How daylight representation in architectural competitions images can lead to an erroneous interpretation of projects*. In: *Proceedings of the CISBAT conference*, Lausanne, 2021.