



MINISTÈRES
ÉCONOMIQUES
ET FINANCIERS

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Secrétariat
général

Guide de l'éclairage

Octobre 2024



Ce guide est le fruit d'un travail pluridisciplinaire associant des Inspecteurs santé et sécurité au travail (ISST), des médecins du travail et des ergonomes, dont la rédaction a été assurée sous le pilotage de Patrick ESPINAT, ISST.

La conception et la rédaction de ce guide ont bénéficié notamment des avis experts de M. Damien HEINRICH, ingénieur-électricien de l'antenne de TOULOUSE du B.I.M.O (SG-SIEP) et de M. Philippe CROS, responsable du Centre Interrégional des Mesures physiques (éclairage) de la Caisse d'Assurance Retraite et de la Santé au Travail (CARSAT) Centre-Ouest.



SOMMAIRE

Introduction	6
DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE	7
Installer ou rénover l'éclairage	8
Donner la priorité à l'éclairage naturel	8
Confort visuel et paramètres de l'éclairage.....	8
Recommandations ergonomiques	9
Prévenir les risques associés à la lumière bleue	11
Réussir la mise en œuvre d'un projet d'éclairage	12
Analyser l'existant	12
Exprimer les besoins.....	14
La note de calcul	14
La sectorisation	16
La qualité de la lumière.....	17
Les facteurs de réflexion des parois.....	18
Choisir les luminaires	18
En éclairage direct : qualités et avantages de la LED.....	19
Profil type des éclairages LED les plus performants	19
Apport de l'éclairage indirect	21
Éclairage biodynamique	22
Recommandations.....	23
Entretenir les systèmes d'éclairage	23
Informers les utilisateurs.....	25
Gérer les déchets.....	25
En conclusion	26
Valeurs repère.....	27
POUR ALLER PLUS LOIN	28
Fiche 1 : notions de base de l'éclairage.....	29
La lumière.....	29

Grandeurs photométriques de l'éclairage	29
Flux lumineux	30
Éclairement	30
Luminance	31
Température de couleur	33
Indice de rendu des couleurs (IRC)	35
Métrologie.....	35
Mesure de l'éclairement	35
Mesure de la luminance	35

Fiche 2 : la note de calcul au centre des prestations des éclairagistes.....	36
Liste des équipements proposés	36
Critères et hypothèse de calcul	38
Résultats de calcul.....	41

Fiche 3 : exemple d'un pavé à LED proposé à la vente ...	43
---	-----------

Fiche 4 : confort visuel et dimensions sanitaires de l'éclairage	45
Les déterminants du confort visuel.....	45
Un diagramme dit « diagramme de Krzythof » permet de visualiser la zone de confort visuel en fonction de la variation des niveaux d'éclairement et de température de couleur de la lumière artificielle....	46
Les recommandations sanitaires en matière d'éclairage.....	47
Privilégier la lumière naturelle	47
L'essor des lumières LED.....	47
Incidence de la lumière bleue	48
Incidence des modulations temporelles ou effets stroboscopiques de la lumière des LED	49
Recommandation d'un dispositif de variation/gradation de l'intensité lumineuse des LED	50
Recommandations pour un bon confort visuel par éclairage LED	50

Fiche 5 : éclairage naturel et protections solaires des vitrages	52
Stores vénitiens.....	53

Stores californiens.....	54
Stores à rouleau	55
Films solaires.....	56

Fiche 6 : obligations réglementaires et normes

techniques 58

Code du travail.....58

Éclairage naturel..... 58

Éclairage artificiel..... 58

Normes techniques59

Normes internationales 59

Normes françaises 60

Glossaire et acronymes 62



Introduction

L'éclairage des locaux professionnels constitue un enjeu important en matière de santé, de bien-être et de sécurité des agents. En effet, quels que soient les espaces ou lieux de travail à considérer — bureaux collectifs, salles de réunion, bureaux individuels ou parties communes, etc. — un éclairage performant participe activement au confort visuel, à la diminution de la fatigue visuelle et à la prévention des risques d'accident du travail.

Les obligations de l'employeur en matière d'éclairage des lieux de travail figurent aux articles R.4223-1 à R.4223-12 du Code du travail. L'employeur doit mettre à disposition de ses salariés des locaux disposant « autant que possible d'une lumière naturelle suffisante. L'éclairage artificiel vient compléter un éclairage naturel insuffisant pour le confort de travail et la sécurité des agents, afin que l'éclairage dans son ensemble permette d'éviter la fatigue visuelle et les affections de la vue qui en résultent » (R.4223-2).

Pour cela, l'éclairage artificiel doit être pensé en fonction des caractéristiques des situations de travail de manière à garantir un éclairage adapté. Il doit prendre en compte de nombreux facteurs : apport de lumière du jour, choix des luminaires et des lampes, température de couleur, implantation des postes...

L'éclairage à diodes électroluminescentes (LED) est devenu très courant dans les environnements de travail dans le cadre des politiques d'économie d'énergie et du développement technologique.

Le déploiement de la technologie LED¹ très basse consommation offre ainsi l'occasion de conjuguer l'objectif de performance énergétique du parc immobilier de l'État à celui d'amélioration du confort visuel des postes de travail.

D'une technicité très innovante, le LED présente des avantages et des risques, et nécessite quelques informations et conseils pour sa bonne utilisation.

C'est pourquoi il est apparu utile de rédiger le présent guide à l'attention des décideurs et des gestionnaires immobiliers afin de présenter les principes de base de l'éclairage et les aider à choisir des dispositifs d'éclairage artificiel qui soient adaptés aux locaux et à l'activité des agents, et qui intègrent les recommandations en matière de prévention en santé et sécurité au travail.

Ce guide s'articule autour des trois axes suivants :

- Les recommandations en matière de confort visuel et de prévention en matière de santé et sécurité au travail ;
- Les différentes étapes pour réussir un projet de déploiement d'un éclairage artificiel ;
- Des fiches complémentaires conçues pour approfondir les aspects techniques et le cadre réglementaire.

¹ L'acronyme LED (pour Light Emitting Diode) désigne à la fois les ampoules électroluminescentes et les systèmes ou installations d'éclairage intérieurs ou extérieurs qui les contiennent. Ainsi, en parlant de la LED, on parle autant des diodes électroluminescentes que des éclairages (ampoules et leurs luminaires) qui en sont pourvus.

DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE



Installer ou rénover l'éclairage

Un éclairage naturel ou artificiel qui ne se conforme pas aux recommandations notamment ergonomiques et/ou ne satisfait pas aux prescriptions réglementaires qui le concernent peut générer fatigue visuelle et troubles de la santé oculaire.

Le positionnement, les caractéristiques techniques des luminaires, mais aussi les moyens de réguler la lumière naturelle par des stores sont des variables importantes qui influent sur les conditions de travail.

Le respect des standards ergonomiques de l'éclairage constitue donc une action principale en faveur des préventions primaire et secondaire des risques d'atteintes à la santé oculaire.

Donner la priorité à l'éclairage naturel

Du point de vue psychologique et physiologique, l'éclairage naturel est à privilégier. Il participe à la vigilance et à la qualité de vie au travail. C'est également l'éclairage le plus économique et celui imposé par le Code du travail (voir [fiche 6](#)).

L'orientation du bâtiment, les conditions d'ensoleillement et les horaires de travail influencent le niveau d'éclairement naturel des locaux.

L'éclairage naturel ne doit pas entraîner de gêne visuelle ni d'éblouissements. Pour veiller à un éclairage naturel de bonne qualité, le choix et l'entretien des protections solaires des vitrages doivent permettre de diminuer l'inconfort lié au rayonnement solaire.

Afin de permettre de faire des pauses oculaires et de regarder au loin, une vue dégagée vers l'extérieur doit être disponible à hauteur des yeux en position de travail². Sauf exception, le travail en continu dans des locaux dépourvus d'éclairement par de la lumière naturelle est proscrit. Le confort visuel recherché est donc obtenu en privilégiant l'éclairage naturel, qui comprend la vue sur l'extérieur à hauteur de vue, complété par un éclairage artificiel adéquat.

Confort visuel et paramètres de l'éclairage

Bien que le confort visuel soit difficile à apprécier tant il dépend des besoins d'éclairage qu'exprime chaque personne en fonction de sa situation personnelle, de ses tâches et du contexte matériel dans lequel elle les accomplit, trois paramètres peuvent cependant permettre une évaluation objective du confort visuel procuré en particulier par l'éclairage artificiel : les éléments mesurables de la lumière, le processus physiologique de sa perception et le champ visuel propre aux êtres humains.

Le confort visuel de la lumière artificielle tient également au rapport entre la température de couleur de la lumière et son niveau d'éclairement (zone de confort visuel), ainsi qu'aux caractéristiques des équipements d'éclairage naturel et artificiel : ils doivent permettre à la

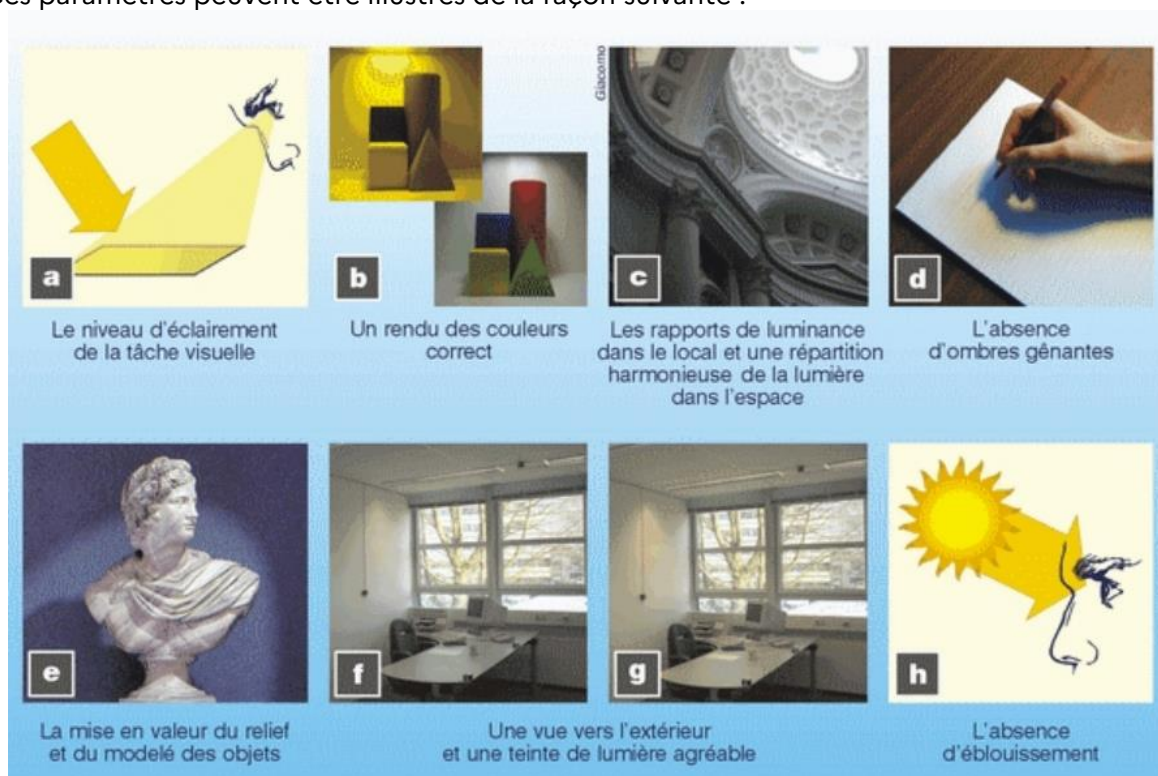
² Pour cela, les hauteurs maximales d'allège (partie du mur entre le plancher et la partie inférieure d'une fenêtre) sont de : * 1,0 m pour les postes « assis » ; * 1,3 m pour les postes « debout ».

fois de distribuer un éclairage adapté à la tâche à accomplir et de contenir les luminances à leurs niveaux les plus bas en permettant de moduler l'intensité lumineuse de l'éclairage.

Les déterminants environnementaux du confort visuel sont :

- Une vue directe sur l'extérieur pour bénéficier d'un éclairage naturel tel qu'il doit être privilégié ;
- Un niveau d'éclairage ^[1] adapté à la tâche à accomplir ;
- Une absence d'éblouissement : maîtrise de la luminance ;
- Une répartition harmonieuse de la lumière dans l'espace : évitement des effets de contraste trop marqués ;
- Une teinte de lumière agréable : importance de la température de couleur de l'éclairage.

Ces paramètres peuvent être illustrés de la façon suivante :



Pour aller plus loin, consulter la [fiche 4](#).

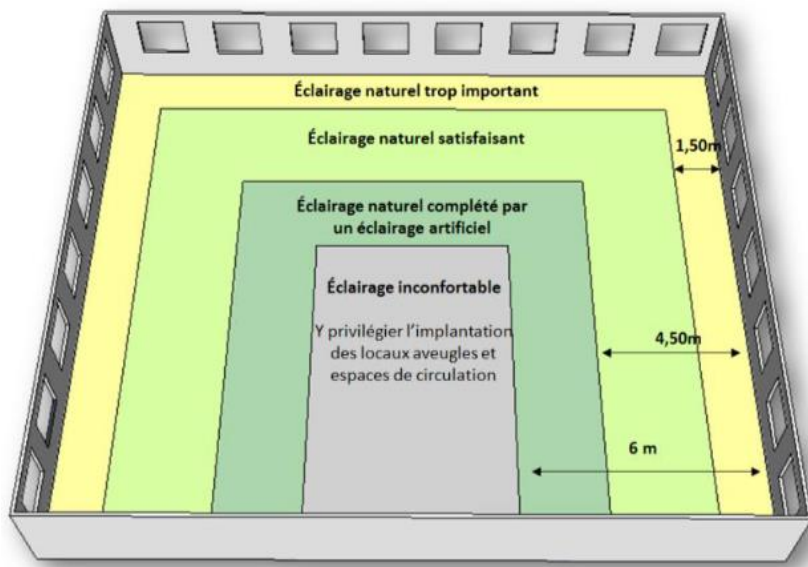
Recommandations ergonomiques

L'adéquation entre l'apport en lumière (naturelle ou artificielle) et le besoin que nécessite une activité est primordiale. L'orientation du bâtiment, les conditions d'ensoleillement et les horaires de travail influencent également le niveau d'éclairage naturel des locaux.

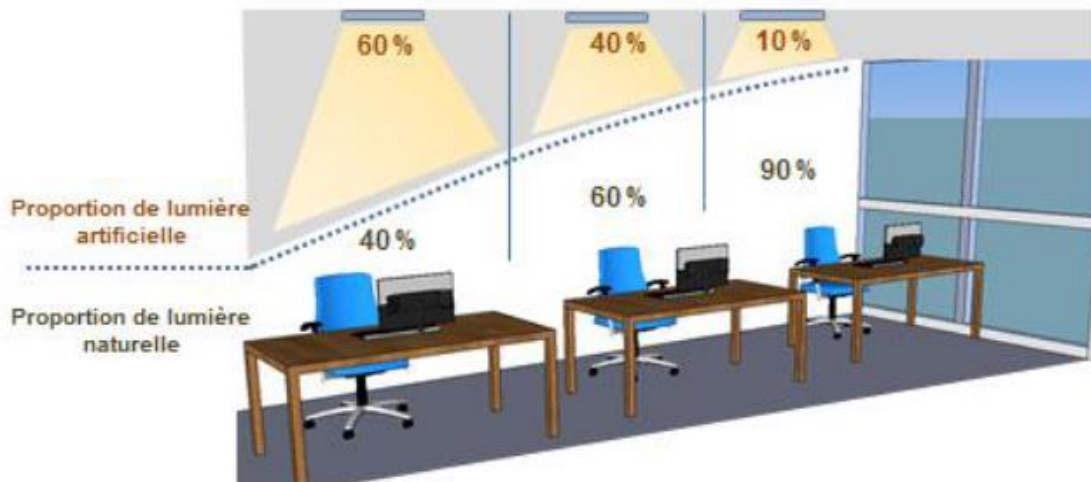
S'agissant de l'éclairage naturel, il est recommandé :

- De respecter certaines distances séparant les postes de travail des vitrages sur façades selon le schéma suivant :

^[1] La notion d'éclairage correspond à la quantité de lumière projetée à l'endroit précis où on en a besoin



- D'implanter les postes avec écran-clavier à la perpendiculaire des surfaces vitrées pour éviter l'éblouissement que provoquerait une implantation face aux fenêtres, ou les reflets sur les écrans implantés dos aux fenêtres ;
- De mettre à disposition des agents des stores aux fenêtres (de type vénitien avec lamelles orientables horizontales), afin de préserver l'équilibre entre la diffusion des lumières naturelle et artificielle selon le schéma suivant :

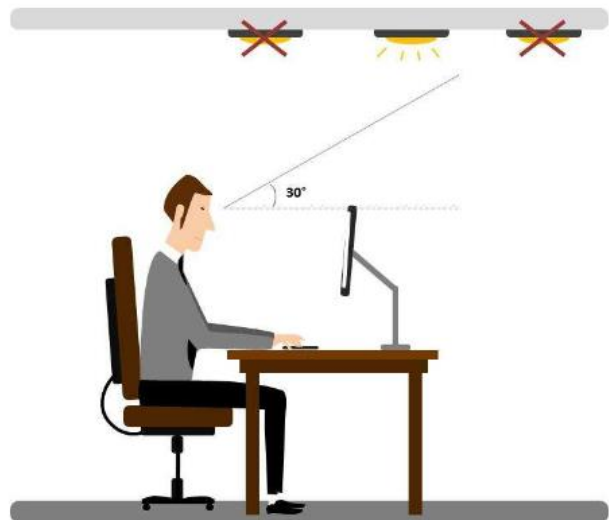


Pour aller plus loin voir [fiche 5](#).

Pour ce qui concerne l'éclairage artificiel, il est recommandé de privilégier un éclairage qui respecte la proportion des lumières artificielle et naturelle indiquée sur le schéma ci-dessus.

- Une température de couleur adaptée au type d'éclairage (entre 3 000 et 5 000 k en présence de tubes fluorescents, cette fourchette devant être retenue entre 3 000 k et 4 000 k en présence de l'éclairage LED).

L'implantation des luminaires doit éviter des sources de reflets sur les écrans informatiques, recommandation qui vise à ne pas positionner les luminaires à l'aplomb des postes informatiques. De même, aucune source lumineuse nue ne doit apparaître dans un angle de 30°³ au-dessus du niveau des yeux afin de ne pas être une source d'éblouissement.



Prévenir les risques associés à la lumière bleue

Qu'est-ce que la lumière bleue ?

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) a mené plusieurs expertises pour mieux comprendre les effets des LED et de la lumière bleue sur la santé et formuler des recommandations à l'intention des pouvoirs publics afin d'en protéger les populations. Elle souligne que certaines personnes sont particulièrement sensibles à la lumière bleue émise par les LED : enfants, personnes sans cristallin ou porteuses d'un cristallin artificiel, personnes atteintes de certaines maladies oculaires et cutanées ou consommant des substances photosensibilisantes.

La norme NF62471 définit quatre groupes de dangerosité pour les sources de rayonnements optiques. Pour les dispositifs d'éclairage général des locaux appartenant aux groupes de risques GR0 et GR1, il n'y a pas de risque pour les yeux en conditions d'utilisation normale.

Pour aller plus loin consulter la [fiche 4](#).

³ L'implantation des postes de travail devant tenir compte de diverses contraintes immobilières, il est admis de considérer cet angle de 45 à 30° (angle idéal).



Réussir la mise en œuvre d'un projet d'éclairage

Les indications qui suivent sont destinées à identifier la méthodologie à mettre en œuvre pour réussir le déploiement d'un projet de rénovation de l'éclairage général d'un site. L'enjeu est important puisqu'il doit permettre de considérer à la fois une dimension de maîtrise des coûts, en matière de consommation énergétique, une dimension d'ergonomie participant au bien-être au travail, mais aussi, c'est à souligner, une notion de préservation de santé.

Quelles sont les étapes d'un projet réussi ?

Pour déployer ce nouvel éclairage, il faut une réponse claire à des questions simples : Qui fait quoi ? Comment ? Avec qui ?

Une telle démarche peut se découper en six étapes :



01 — Analyser l'existant



02 — Exprimer les besoins



03 — Choisir les luminaires



04 — Entretenir les systèmes d'éclairage



05 — Informer les utilisateurs



06 — Gérer les déchets

Analyser l'existant



Le gestionnaire du projet de rénovation de l'éclairage établit le diagnostic de l'existant, indique dans le cahier des charges du marché les besoins généraux d'éclairage et, le cas échéant, particuliers vis-à-vis de locaux ou d'activités spécifiques.

Cette expression tient au diagnostic de l'existant : les locaux et leurs activités, les éclairages à remplacer, les conditions générales d'éclairage naturel qui sont par définition, variables d'un bâtiment à l'autre.

Ce diagnostic conduit à une revue précise de l'état des équipements de l'éclairage naturel, car c'est bien la combinaison de l'éclairage naturel avec l'éclairage artificiel qui permet de parvenir au confort visuel. Ce dernier dépend de la bonne prise en compte des paramètres physiques

de l'éclairage et de son environnement. Il tient également à des données physiologiques spécifiques à la vision des êtres humains.

L'éclairage naturel s'apprécie à l'aide du « facteur de lumière du jour » (FLJ). Il résulte du rapport entre l'éclairement naturel intérieur reçu en un point (généralement le plan de travail ou le niveau du sol) et l'éclairement extérieur et s'exprime en %.

FLJ	- de 1 %	1 à 2 %	2 à 4 %	4 à 7 %	7 à 12 %	+ de 12 %
	Très faible	Faible	Modéré	Moyen	Élevé	Très élevé
Zone considérée	Zone éloignée des fenêtres (distance environ 3 à 4 fois la hauteur de la fenêtre)			A proximité des fenêtres ou sous des lanterneaux		
Impression de clarté	Sombre à peu éclairé		Peu éclairé à clair		Clair à très clair	
Impression visuelle du local	Cette zone semble être séparée de cette zone					
Ambiance	Le local semble être refermé sur lui-même			Le local s'ouvre vers l'extérieur		
Confort de travail	non adapté pour un travail permanent		adapté à moins de 50 % des heures de travail		adapté à plus de 50 % des heures de travail mais risques d'éblouissement	

La rénovation d'une installation d'éclairage doit donc idéalement être conduite par un éclairagiste ou, a minima, par un installateur technique spécialisé en éclairage.

Une installation LED neuve offre tous les avantages inhérents à cette technologie, à condition que la conception et le fonctionnement soient adaptés : systèmes optiques, refroidissement, alimentation électrique et implantation.



Rénovation : modifier l'existant ou réaliser du neuf ?

➤ Déploiement du LED ou relamping ?

Remplacer un à un les luminaires à tubes fluorescents par des pavés LED, ou remplacer dans son ensemble un éclairage fluorescent pour installer un système d'éclairage de la technologie LED sont deux opérations radicalement différentes.

Si on procède « à l'identique » selon le principe 1 pavé fluorescent = 1 pavé LED, selon les modalités d'un « relamping », on fait installer autant de pavés LED qu'il y a de luminaires à tubes fluorescents à remplacer. En procédant ainsi, on aura plus de pavés LED qu'il n'en faut, générant de l'inconfort visuel par une luminance trop importante.

Par ailleurs, ce nombre trop élevé de luminaires manque l'objectif de performance énergétique, mais aussi celui de confort visuel.

➤ Le rétrofit

Le rétrofit consiste à remplacer par des tubes LED les tubes fluorescents d'un luminaire alors laissé en place. L'installation des tubes LED apparaît alors plus simple et moins onéreuse.

Dans une de ses publications, la CARSAT Nord-Est indique « qu'aucune technologie ne constitue la solution d'éclairage universelle : étudier les tâches pour déterminer la meilleure

solution technique intégrant la réglementation, les normes d'éclairage et la prévention des risques professionnels », mais souligne néanmoins « qu'il faut éviter le remplacement d'une technologie ancienne par une technologie LED sans aménagement spécifique ».

En effet, une fois l'opération réalisée de cette manière des défauts « inattendus » (les fournisseurs ne les indiquent pas le plus souvent) apparaîtront inmanquablement : échauffement excessif du luminaire défavorable pour la durée de fonctionnement des tubes LED ainsi mis en place ; alimentation électrique de mauvaise qualité aggravant elle aussi le vieillissement prématuré des tubes LED ; modulation temporelle de l'éclairage mal contrôlée avec le risque de papillotement ou d'effet stroboscopique ; éclairage de mauvaise qualité conduisant les occupants des locaux à exprimer leur insatisfaction alors que leur attente du nouvel éclairage serait portée assurément par celle d'un confort visuel amélioré...

Le modèle rétrofit est donc à écarter a priori, car il ne garantit ni les qualités ni les performances de l'éclairage.

Déployer la technologie LED, c'est rénover la totalité d'un système d'éclairage en place. Toute autre option de remplacement partiel manquerait l'objectif de confort visuel et de performance énergétique à l'origine du projet. Pour atteindre l'objectif de rénovation de l'éclairage, il apparaît donc indispensable de bien exprimer ses besoins.

Exprimer les besoins



Un projet d'éclairage bien calibré, avec un facteur de maintenance adapté, garantit les performances de l'installation dans le temps.

L'expression des besoins d'éclairage s'effectue en lux et procède d'une évaluation de l'éclairement par type de local et/ou d'activité.

Elle devra être vérifiée et validée par les éclairagistes.

Cette première étape doit conduire le gestionnaire du projet à demander aux entreprises la production et la communication d'un document indispensable : la *note de calcul* de la proposition d'éclairage des prestataires répondant à l'appel d'offres.

La note de calcul

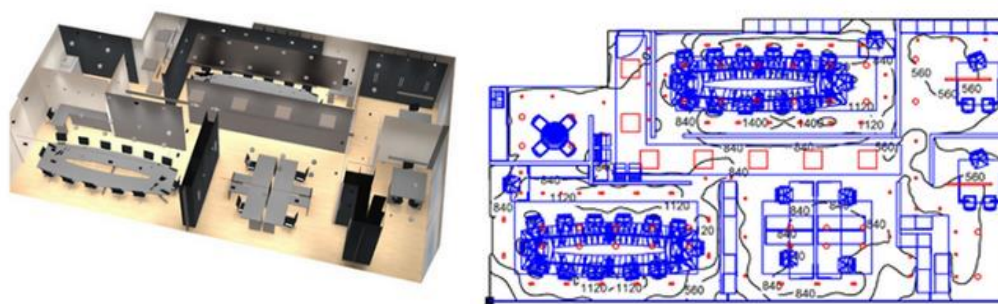
Tenant compte des locaux, de leurs aménagements et activités (accueil des usagers, bureaux individuels ou collectifs, salles de réunion ou de formation, archivages, restauration, etc.) et de l'expression des besoins qui en découle, les éclairagistes établissent un projet d'éclairage conforme aux dispositions réglementaires et normatives. Ils justifient leurs propositions notamment avec les niveaux d'éclairement, la luminance et le rendement énergétique du futur éclairage.

Les éclairagistes utilisent des logiciels de calcul des besoins d'éclairage. En possession des résultats de ce calcul, ils préparent leurs propositions d'éclairage.

Cette étape dite de la *note de calcul* caractérise la méthodologie à mettre en œuvre dans le déploiement de la LED. Elle en constitue l'un des éléments les plus importants.

La [fiche 2](#) consacrée à la note de calcul en détaille les paramètres à retenir et propose un exemple établi à l'aide d'un des logiciels les plus couramment utilisés pour l'établir (DIALUX).

La note de calcul ainsi établie est illustrée par les effets lumineux (éclairage et luminance) des équipements d'éclairage proposés.

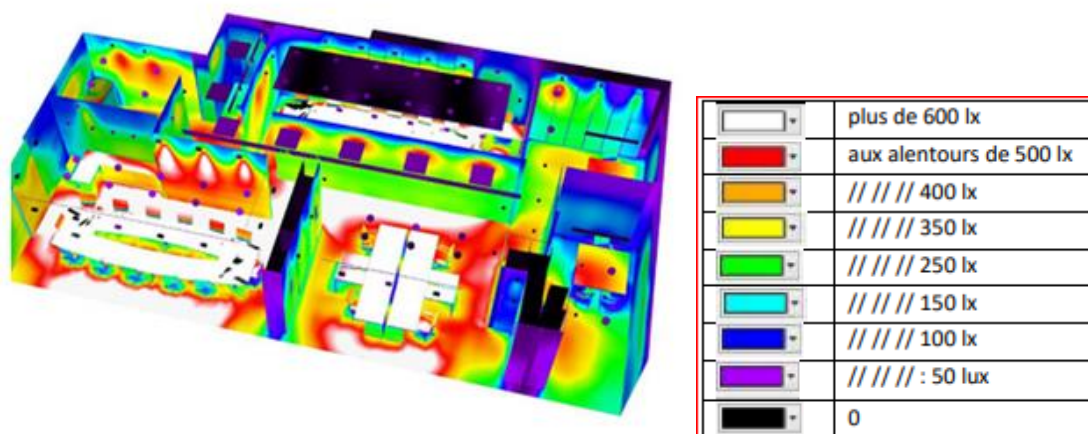


Simulation d'un projet de rénovation étendu à plusieurs locaux

Cette feuille de résultat donne l'indication distincte, selon les paramètres de calcul retenus pour la produire :

- Du niveau de luminance généré par les LED compte tenu de l'aspect immobilier des locaux, de leur surface, si possible de leurs mobiliers avec leur emplacement, et des activités qui y sont exercées ;
- De l'équilibre de l'éclairage distribué aux endroits des postes de travail.

Le logiciel de calcul permet de produire une représentation visuelle des niveaux de luminance et/ou d'éclairage selon les paramètres spécifiés en légende du document :



L'étude indiquera notamment :

- Les niveaux d'éclairage à maintenir ou à prévoir (expression du donneur d'ordre);
- Les niveaux d'éclairage (exprimés en lux) procurés par les luminaires LED soumis à l'étude;
- L'uniformité de ces niveaux d'éclairage dans le périmètre des postes de travail ;
- La luminance par le biais de son UGR (entre 16 et 19 pour les activités de bureau);
- L'indication du groupe de risque photo biologique prévu par la norme EN-62 471 : GR0 ou GR1 (voir détail [fiche 4](#));
- La température de couleur et l'IRC ;
- Le cas échéant la détection de présence et la gradation automatique de l'éclairage en fonction de la lumière de jour, ou, sinon, la gradation manuelle de l'éclairage.

En cas de gradation automatique de l'éclairage (variation automatique de l'intensité lumineuse), il est vivement recommandé, voire indispensable que les utilisateurs disposent de commande manuelle de cette gradation pour répondre de la façon la plus satisfaisante à leurs besoins d'éclairage. Cette étape donne également l'occasion de demander le prix comparé de l'installation d'un éclairage plafonnier et d'un éclairage mixte avec le coût d'exploitation de chacun des deux (à niveau d'éclairement identique des deux options). L'option d'un éclairage mixte pourra en effet selon les contextes immobiliers mériter une évaluation de son coût.

Le gestionnaire du projet doit indiquer les caractéristiques souhaitées des équipements d'éclairage à fournir (notamment type du driver, luminaires gradables⁴, éclairage sectorisé).

Pour approfondir cette notion de note de calcul, voir détail [fiche 2 La note de calcul au centre des prestations des éclairagistes](#).

La sectorisation

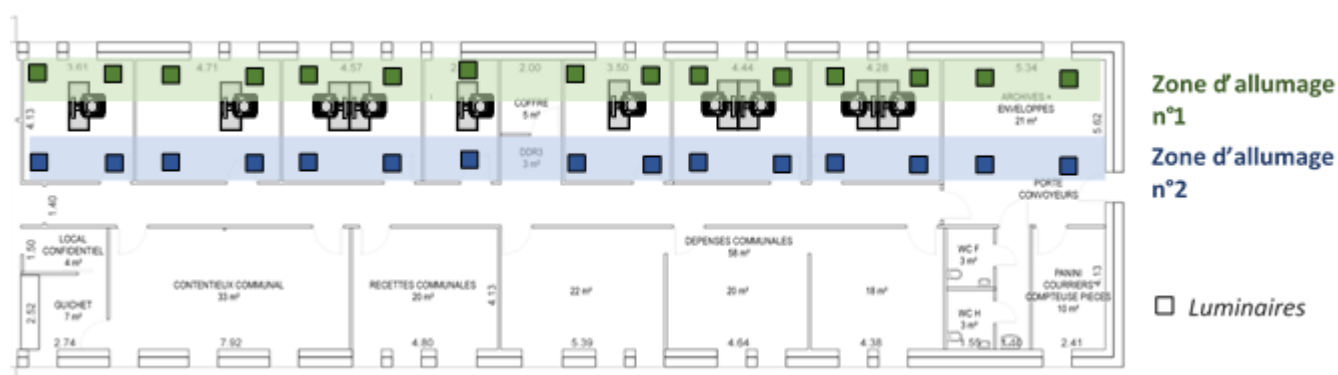
Le positionnement des luminaires doit tenir compte de celui des postes de travail en fonction de leur distance vis-à-vis des surfaces vitrées.

L'implantation des luminaires doit éviter de créer des sources de reflets dans les écrans informatiques, il est donc nécessaire de ne pas positionner les luminaires à l'aplomb des postes informatiques. Les sources d'éclairage artificielles directes doivent être réparties de part et d'autre du poste informatique.

De même, aucune source lumineuse à nue ne doit apparaître dans un angle de 30° au-dessus du niveau des yeux afin de ne pas être source d'éblouissement.

Des zones distinctes d'éclairage artificiel à prévoir en fonction de l'éloignement des surfaces vitrées sur façade

Il est également important de pouvoir activer par zone des blocs de luminaires en fonction de leur distance vis-à-vis des surfaces vitrées. Ce principe permet d'allumer en priorité les luminaires dans les zones les plus sombres d'une pièce, sans créer un sur éclairement dans les zones bénéficiant d'un éclairage naturel suffisant (cf. illustration ci-après).



L'utilisation d'un variateur est également souhaitable afin de permettre de moduler le niveau d'éclairement en fonction du niveau d'éclairement naturel.

⁴ L'anglicisme synonyme « dimmable » est couramment utilisé par les professionnels de l'éclairage pour désigner cette fonctionnalité.

La qualité de la lumière

La température de couleur

La lumière naturelle change constamment de couleur : lumière dorée au lever du soleil puis lumière blanche et lumière jaune orangé au coucher du soleil.

Lorsque l'on traduit ces changements en termes d'éclairage, on parle de température de couleur exprimée en kelvin. La température de couleur doit être de 3 300 à 5 000 k pour un éclairage prescrit de 500 lux. Une température de couleur de 4 000 k correspond à un blanc neutre. Une lumière « froide » se traduit par une température supérieure à 4 000 k et une lumière « chaude » inférieure à 4 000 k.

La norme NF X 35-103 indique des niveaux à respecter selon le niveau d'éclairage :

Niveau d'éclairage recommandé (lux)	Tcp (k)	Apparence colorée
< 300	< 3 300	Blanc chaud
300 — 1 000	3 300 — 5 300	Blanc intermédiaire
> 1 000	> 5 300	Blanc froid

En pratique une température de couleur de 4 000 k maximum doit être retenue pour un éclairage de bureau.

L'indice de rendu des couleurs (IRC)

L'indice de rendu des couleurs (IRC) mesure la capacité d'une source lumineuse à restituer les différentes teintes d'un objet. En effet, la lumière artificielle peut altérer la perception des nuances chromatiques à des degrés variables. L'IRC constitue donc un critère essentiel de la qualité d'un éclairage LED. La Commission internationale de l'éclairage (CIE) a défini une méthode de comparaison du rendu des couleurs. La faculté d'une source lumineuse à restituer les nuances colorimétriques se mesure par rapport à celle d'une source de référence, dotée de la même température de couleur. L'indice de rendu des couleurs varie ainsi de 0 à 100. L'indice maximal correspond à celui de la lumière du soleil. Un indice 100 assure donc une reproduction fidèle de l'ensemble des couleurs, comme en plein jour.

La norme NF EN 12464-1 recommande un IRC minimal de 80 pour des activités de bureau.

Lumière bleue

Le déploiement de l'éclairage LED a réintroduit le sujet de la lumière bleue dont il avait été question à l'époque des écrans cathodiques des postes de travail écran-clavier.

Les éclairages LED sont indiqués par la norme NF-EN 12464-1 selon une cotation GR pour « groupes de risques » allant de GR0 à GR 3. Les médecins du travail ministériels s'y réfèrent pour indiquer ou rappeler que les luminaires à LED doivent relever des classes GR0 ou GR1.

La signification de cette cotation est la suivante :

GR 0 : groupe sans risque en utilisation normale de l'éclairage et toujours sans risque en cas d'exposition (vue) directe aux LED pendant 3 heures (condition anormale d'utilisation de l'éclairage) ;

GR 1 : groupe sans risque en utilisation normale de l'éclairage. Si une exposition directe à la lampe intervient (condition anormale d'utilisation), la limite d'exposition sans risque pour la santé oculaire sera atteinte au bout d'une heure (cette limite pourrait être atteinte selon les situations au bout d'un temps plus long d'exposition directe pouvant aller jusqu'à 3 heures⁵).

Le marquage du groupe de risque est obligatoire lorsqu'il dépasse GR1. Par ailleurs, seules les ampoules d'éclairage GR0 et GR1 sont autorisées à la vente « grand public ». Le risque de trouver une proposition commerciale d'ampoule d'éclairage GR2 ou 3 est donc minime⁶.

La [fiche 4](#) revient sur les avis et recommandations de l'ANSES.

Les facteurs de réflexion des parois

La qualité de l'éclairage et le niveau d'éclairement dépendent aussi du facteur de réflexion des parois, c'est-à-dire de la quantité d'énergie lumineuse qu'une paroi réfléchit par rapport à ce qu'elle reçoit. Le Code du travail n'aborde pas ce sujet.

En revanche, la norme NF EN 12464-1 recommande les facteurs de réflexion suivants pour les parois :

- Plafond : 0,7 à 0,9
- Murs : 0,5 à 0,8
- Sol : 0,2 à 0,4

Les facteurs de réflexion des objets principaux (le mobilier, les machines...) devront être compris dans une plage de 0,2 à 0,7. La norme NF X 35-103 précise une plage de 0,3 à 0,6 pour le plan de travail.

Pour approfondir les aspects qualitatifs de l'installation d'éclairage évoqués au paragraphe *Expression des besoins et suivants* voir détails dans la [fiche 4](#).

Choisir les luminaires



Le choix des luminaires tient compte avant tout des conclusions de la phase précédente pour s'assurer du confort visuel des occupants des locaux. Cette vérification conduit ensuite à apprécier la qualité des équipements proposés et leur niveau de performance énergétique.

Pour bien choisir son éclairage en fonction des espaces et des besoins, il faut en connaître les caractéristiques.

⁵ Les activités professionnelles qui peuvent générer des situations anormales d'exposition directe aux ampoules LED sont notamment celles de leurs fabricants lors des phases de test et de contrôle-qualité avant la commercialisation des produits

⁶ Les phares automobiles ou les lampes torches sont proposés avec des ampoules GR2...

En éclairage direct : qualités et avantages de la LED

Lorsque les tâches ne nécessitent pas la perception de détails, l'éclairage général par dispositifs d'éclairage direct (luminaires encastrés dans le faux plafond) est suffisant.

Ce type d'éclairage offre un éclairage uniforme.

Le choix des luminaires, leur implantation et leur zonage contribuent à la qualité de cet éclairage.

- Directivité de son flux lumineux : la lumière d'une LED est intégralement disponible et exploitable.
- Performance lumineuse et énergétique : pour un watt consommé, l'ampoule LED produit un flux lumineux (mesuré en lm) très supérieur aux ampoules des technologies précédentes. Une ampoule LED des dernières générations technologiques consomme 10 à 20 fois moins d'énergie que les ampoules à incandescence, 15 fois moins que les ampoules halogènes et 4 à 5 fois moins que les ampoules fluocompactes et enfin presque 2 fois moins que les tubes fluorescents.
- Durabilité : durée de la performance d'éclairage et durée de vie, ce double avantage tient à la capacité de la LED à supporter sans dommage les cycles allumage/extinction.
- Résistance aux chocs beaucoup plus importante que celle des ampoules qui ont précédé la LED.
- Maintenance et entretien très limités des luminaires LED, notamment lorsqu'ils sont constitués par des dalles encastrées en faux plafonds.
- Limitation des matériaux toxiques : contrairement aux ampoules à décharge, les LED ne contiennent pas de mercure.

Profil type des éclairages LED les plus performants

Les grandes caractéristiques techniques et matérielles des luminaires LED dont l'emploi est à prévoir dans la grande majorité des locaux des services du MEFSIN sont indiquées ici.

Pour faciliter le choix des luminaires, la liste suivante des caractéristiques des LED indiquées dans les offres commerciales des éclairagistes aide à leur compréhension :

- Flux lumineux sortant : exprimé en lumens (lm), par exemple 3600 lm : c'est une donnée utile pour mesurer la quantité de lumière émise par un luminaire
- Éclairement : exprimés en lux
- Puissance : exprimée en watts, par exemple 40 W
- Efficacité lumineuse : lm/W : dans notre exemple $3600/40 = 90$ lm/W
- Température de couleur : entre 3 000 et 4 000 K, selon le besoin d'éclairage identifié et calculé avant le choix des luminaires
- Optique : indication du type de couverture des LED, transparente ou translucide (par exemple optique opale des dalles LED installées dans les faux plafonds). L'optique des LED sert, en particulier, à supprimer la vue directe⁷ des diodes lumineuses et à élargir

⁷ Si l'optique est transparente, et dès lors que le luminaire relèvera de la classe GR0 (voire GR1), le luminaire dans son ensemble doit être conçu et fabriqué pour éviter une vue directe sur les diodes dans les conditions normales d'utilisation de l'éclairage.

la diffusion de la lumière⁸. Elle n'est pas contrairement à ce que l'on peut penser un élément d'embellissement du luminaire même si elle y participe puisqu'elle est directement visible.

- Groupe de risque : GR0 pour la plupart (au plus GR1), ce groupe de risque apparaissant indiqué dans les offres commerciales de la façon suivante :



- Driver : le driver d'une LED est un boîtier électronique qui génère les caractéristiques du courant nécessaire au fonctionnement des diodes. Relevons ici que c'est un composant décisif pour le bon fonctionnement et la durée de vie d'une LED.
- Luminaire gradable (*dimnable en anglais*) : cette fonctionnalité permet de régler son intensité lumineuse selon les besoins en fonction notamment de l'éclairage naturel d'un local, du moment de la journée, etc. Le choix de cette caractéristique s'avère indispensable pour assurer le confort visuel de l'éclairage LED, notamment dans les locaux collectifs dans lesquels le risque de forte luminance est plus élevé que dans les bureaux individuels (nombreux luminaires, surfaces, réfléchissant la lumière, plus importantes, etc.)⁹.

Cette caractéristique est souvent indiquée de la façon suivante :



- IRC : 80
- Durabilité : un des atouts notoires des LED, leur durabilité de plusieurs milliers d'heures est indiquée selon une codification LX-milliers d'heures, par exemple L70-50 000 heures. Cette codification pourra être demandée aux éclairagistes dans le cahier des charges du dossier de consultation des entreprises. La mention L70-50 000h dans un cahier des charges indiquera que les entreprises qui répondront à l'appel d'offres devront assurer qu'au bout de 50 000 heures, les luminaires auront la capacité de produire, a minima, 70 % de leur flux lumineux nominal exprimé en lumen (flux initial des luminaires neufs).

On voit ainsi qu'avec la LED un nombre d'heures de durée de vie exprimée sans la valeur **Lxx** (souvent égale à 70) ne dit rien du pourcentage de maintien du flux nominal au bout des milliers d'heures de fonctionnement indiquées. Les gestionnaires et décideurs de l'immobilier doivent la considérer avec attention.

Pour aller plus loin voir [fiche 3](#).

⁸ Si cette caractéristique apparaît souhaitable dans l'éclairage des bureaux, elle peut en revanche s'avérer inadaptée pour l'éclairage de postes de travail qui requièrent un éclairage important (activités de précisions, de manipulations d'objets ou de matières ou substances — ateliers de mécanique, laboratoires, etc.).

⁹ Rappelons que l'arrêté modifié du 3 mai 2017 mentionné page 13 prévoit cette fonctionnalité à titre obligatoire lors des rénovations de l'éclairage des bâtiments existants.

Apport de l'éclairage indirect

L'éclairage indirect consiste à installer des luminaires dont le flux lumineux est projeté vers le haut. La lumière est réfléchiée par le plafond de la pièce.

Des lampadaires (sur pied ou fixés par serrage sur l'épaisseur des plans de travail), ou des luminaires suspendus, procurent de la même façon un éclairage indirect, mais couplé à un éclairage vertical descendant, de sorte qu'avec ces équipements on parle d'éclairage mixte :



Les locaux dotés de ces éclairages mixtes (quel que soit leur type) possèdent des faux plafonds ou des plafonds pleins sans luminaire. Les lampadaires d'éclairage mixte procurent en effet un éclairage au moins équivalent à celui des luminaires plafonniers.

Ces éclairages indirects ou mixtes présentent l'avantage pour le confort visuel d'offrir une répartition uniforme des luminances. Ils constituent par conséquent une protection très efficace contre l'éblouissement.

La lumière qu'ils diffusent apparaît apaisante, répartie avec une forte atténuation des contrastes et des ombres au poste de travail.

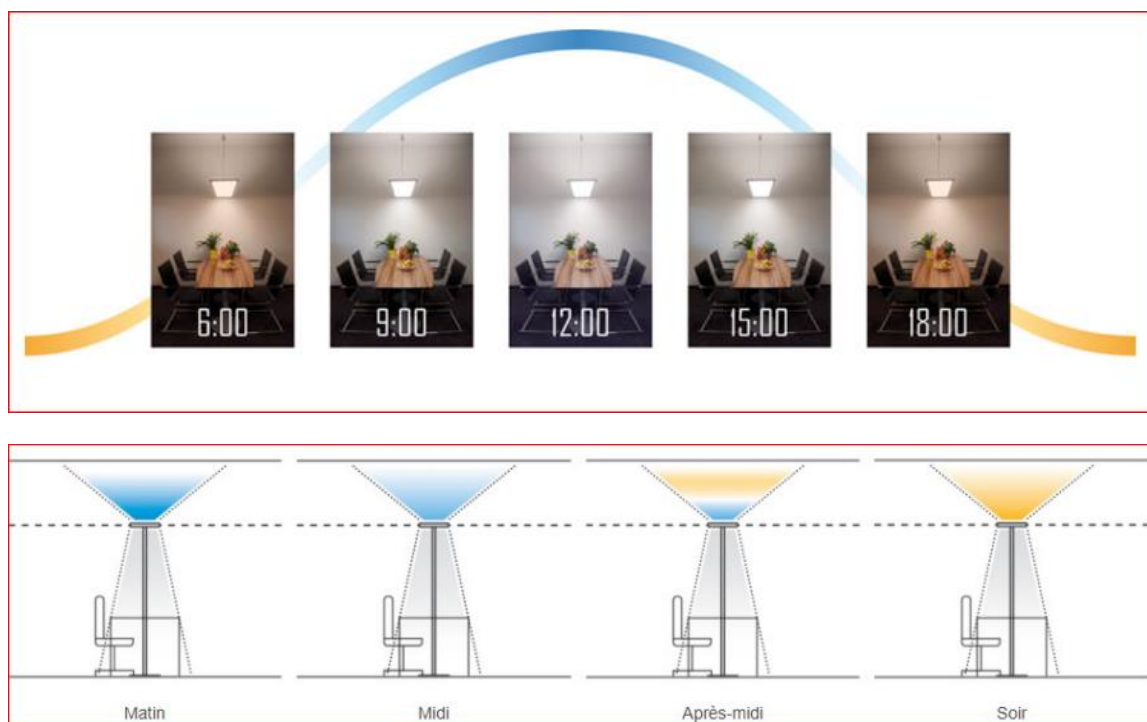


S'agissant des lampadaires à LED, ils peuvent constituer un moyen adapté pour répondre à un besoin ponctuel d'éclairage, identifié comme tel, permettant de répondre à une situation défectueuse à laquelle il n'apparaît pas possible, ou immédiatement possible, d'apporter une réponse autre que celle d'un éclairage d'appoint.

Éclairage biodynamique

Ce type d'éclairage prend en compte les modifications de la lumière naturelle au cours de la journée. Il est aussi dénommé éclairage circadien.

Le principe d'un système d'éclairage biodynamique se calque sur les variations de température de couleur de la lumière naturelle tout au long de la journée : Éclairage plus froid et dynamisant le matin pour se réchauffer au fur et à mesure de la journée et arriver à 2 700 k/3 000 k en fin de journée. La température des couleurs varie tout le long de la journée : une lumière plus vive est utilisée le matin, pour dynamiser tandis qu'une lumière tamisée est préférée en fin de journée.



Le changement de couleur de la lumière artificielle cherche à reproduire celui de la lumière naturelle.

Il est à noter que l'installation d'un tel système peut être coûteuse en raison des technologies avancées, elle peut aussi nécessiter des compétences techniques pour programmer les cycles lumineux en fonction des besoins des utilisateurs. Enfin le système doit être bien conçu pour correspondre aux cycles circadiens des occupants.

Recommandations

Parmi toutes les propositions des prestataires, les gestionnaires des projets de rénovation des éclairages pourront s'appuyer, pour opérer un choix, sur une pluralité d'acteurs ou personnes-ressources en considération des rôles et compétences de chacun.

Outre les éclairagistes consultés, ils peuvent consulter les acteurs ministériels selon leur domaine-métier : les ergonomes du Pôle ergonomique ministériel, les médecins du travail, les ISST. Ils peuvent également s'adresser aux experts du domaine de l'éclairage des antennes immobilières du B.I.M.O. Ces acteurs ressources peuvent aider à la compréhension de la note de calcul et du descriptif technique des luminaires proposés par les entreprises.

L'appui du B.I.M.O. permettra également d'examiner les modalités d'application des arrêtés de 2007 et de 2017 relatifs à la performance énergétique des éclairages des bâtiments existants. Ces arrêtés imposent pour les nouvelles installations d'éclairage et dans certains types de locaux (circulations, parties communes et les parcs de stationnement) la mise en place de la détection de la lumière du jour et de la détection de présence lorsque ces locaux sont inoccupés.

Le donneur d'ordre examine les offres des prestataires et fait son choix. Cette étape requiert la capacité de comprendre le descriptif technique des équipements LED proposés.

Le cahier des charges demandera par ailleurs aux prestataires de fournir dans leurs réponses à l'appel d'offres :

- Le bilan de puissance de l'éclairage proposé pour trouver la mesure de son efficacité énergétique;
- Le type de commande de la gradation de l'éclairage des luminaires proposés.

Cette première étape devra enfin conduire le donneur d'ordre à demander aux entreprises l'indication des modalités qu'elles mettront en œuvre pour l'enlèvement et le traitement des éclairages déposés.

Entretenir les systèmes d'éclairage



Les données de maintenance des systèmes d'éclairage artificiel sont à intégrer dans les décisions d'achats.

Les projets d'éclairage doivent être étudiés avec un facteur de maintenance dépendant du matériel d'éclairage choisi et de l'environnement de travail. Le facteur de maintenance dans un local de bureau est différent de celui d'un hangar de contrôle des douanes.

Un programme de maintenance complet (fréquence de remplacement des lampes et du nettoyage notamment) doit être prévu par le concepteur de l'éclairage. Dans le cas des LED, il s'agira d'assurer le nettoyage des luminaires (périodicité maximale de trois ans).

Selon le Code du travail, le maître d'ouvrage consigne dans une notice d'instructions qu'il transmet à l'employeur les niveaux minimums d'éclairement, pendant les périodes de travail, des locaux, dégagements et emplacements, ainsi que les informations nécessaires à la détermination par l'employeur des règles d'entretien du matériel et leur périodicité. Il est recommandé de se reporter aux indications contenues dans la consigne d'instructions fournie par l'installateur.

Toujours selon le Code du travail, le matériel d'éclairage est installé de manière à pouvoir être entretenu aisément. L'employeur fixe les règles d'entretien périodique du matériel en vue d'assurer le respect des dispositions de la présente section.

Cela vise principalement l'accessibilité du matériel d'éclairage, de façon à rendre moins pénibles et moins dangereuses les tâches d'entretien (nettoyage et remplacement des lampes). De plus, un bon choix de matériel d'éclairage peut réduire la fréquence de l'entretien et le temps nécessaire aux opérations d'entretien et de nettoyage.

Les règles d'entretien sont consignées dans un document qui est communiqué aux membres du Comité social d'Administration.

Le document transmis par le maître d'ouvrage qui réalise l'installation d'éclairage permet d'informer l'employeur sur les conditions d'éclairage prévues et sur l'entretien de l'installation à prévoir.

Le flux lumineux émis par les lampes, quelles qu'elles soient, diminue dans le temps (empoussièrement du luminaire, usure de la lampe). Cette dépréciation est influencée par les conditions ambiantes et la fréquence d'utilisation. Aussi, pour couvrir une durée totale d'utilisation d'un éclairage artificiel pendant laquelle l'éclairement moyen évalué devra être maintenu, l'éclairagiste va surdimensionner le niveau d'éclairement pour compenser son affaiblissement relatif pendant sa durée totale d'utilisation.

Une gestion automatique de la gradation peut piloter le système d'éclairage légèrement surdimensionné de façon à :

- Assurer la consommation électrique minimale du système juste suffisant pour obtenir les niveaux d'éclairement requis ;
- Conserver un système suffisamment lumineux plus longtemps ;
- Réduire le vieillissement des LED : moins sollicitées, elles chaufferont moins, en particulier lorsque l'éclairage naturel sera disponible.

Ainsi, à la réception d'une installation d'éclairage sans automatisme, le maître d'ouvrage a intérêt à exiger des niveaux d'éclairement valant l'éclairement à maintenir divisé par le facteur de maintenance.

Finalement, il convient de se reporter à la notion « d'éclairement à maintenir » qui est la « valeur en dessous de laquelle l'éclairement moyen de la surface considérée ne peut pas descendre ».

Informer les utilisateurs



L'information des agents vise le fonctionnement de l'installation d'éclairage, en particulier celui de la gradation de son intensité lumineuse. Cette information donne en particulier le moyen de bénéficier d'emblée du confort visuel procuré par cet éclairage très innovant. À défaut, le nouvel éclairage pourrait apparaître trop brillant, voire éblouissant.

Si un dispositif de détection automatique de lumière de jour est installé, son fonctionnement automatique doit être expliqué aux occupants des locaux.

De même si la gradation est activée par l'utilisation manuelle d'une télécommande, il convient d'en informer les occupants.

Gérer les déchets



Un éclairage déposé pour son remplacement relève de la catégorie des *déchets des équipements électriques et électroniques* dits « D3E ». Sa remise à un tiers récupérateur doit figurer parmi les actions à mettre en œuvre dans la préparation et la réalisation du projet de rénovation de cet éclairage.

En effet, le maître d'ouvrage est légalement responsable du devenir des déchets générés par les travaux de maintenance, rénovation et démolition : L'article L 541-2 du Code de l'environnement prévoit que « tout producteur ou détenteur de déchets est responsable de la gestion de ces déchets jusqu'à leur élimination ou valorisation finale, même lorsque le déchet est transféré à des fins de traitement à un tiers. [Il] s'assure que la personne à qui il les remet est autorisée à les prendre en charge ».



L'opérateur *ecosystem*¹⁰, « entreprise d'intérêt général à but non lucratif agréée par les pouvoirs publics »¹¹ propose des formulations de clauses à insérer dans les CCTP d'un projet de rénovation d'éclairage. Elles peuvent être très utilement reprises telles qu'elles sont proposées par *ecosystem*.

La remise de déchets D3E à un éco-organisme agréé (notamment *ecosystem*) relève leurs producteurs (maîtres de l'ouvrage) de toute responsabilité quant au devenir de ces déchets. Pour se faire, cet organisme doit remettre au maître d'ouvrage un justificatif de recyclage.

¹⁰ Cet organisme a été créé pour fusionner les activités d'Eco-systèmes et Recylum, ce dernier organisme ayant été prévu pour le recyclage des LED.

¹¹ <https://www.ecosystem.eco/fr/sous-rubrique/qui-sommes-nous>



En conclusion

Avant de valider ses choix, le service responsable du projet devra s'assurer de pouvoir comparer les mêmes données :

- Cycles d'allumages/extinctions ;
- Gradations ;
- Contraintes photométriques ;
- Ambiance thermique et chimique ;
- Émissions des rayonnements optiques ;
- Contraintes de place et d'implantations ;
- Empoussièrement...

Ensuite, il doit s'assurer que les matériels proposés sont d'une qualité suffisante pour répondre aux contraintes de l'étude d'éclairage et assurer la pérennité technique et financière de l'installation d'éclairage.

Le décideur immobilier peut ainsi examiner avec attention :

- Le facteur de maintenance en corrélation avec les conditions réelles de l'installation : empoussièrement, température ambiante, fréquence de nettoyage... ;
- L'indicateur de vieillissement de l'installation, c'est-à-dire la perte de flux à un nombre d'heures donné ;
- La conception du luminaire : radiateur, ventilation du luminaire, sensibilité à l'empoussièrement, facilité d'entretien ;
- Le type de luminaire : en plafond sous plénum ou encastré avec un vide d'air (acceptable) ou sous isolant (à proscrire), suspendu (idéal) ;
- Le rendement réel de l'installation, c'est-à-dire prenant en compte à la fois les LED et leur intégration dans le luminaire ;
- La température de couleur des LED ;
- L'homogénéité de couleur des LED en évitant les différences de couleur des LED d'une même référence commerciale.

Une fois tous ces éléments pris en compte, le décideur immobilier doit comparer les offres en termes de coût global et de performances attendues.

Avant toute décision, il est intéressant de tester pendant quelque temps les luminaires sur une zone représentative en termes d'activité. Le ressenti des agents (température de couleur, sensation d'éblouissement...) peut aider au choix définitif de l'installation d'éclairage et à son acceptation.



Valeurs repères

- ✓ Luminance UGR comprise entre 16 et 19
- ✓ Température de couleur comprise entre 3 000 k et 4 000 k
- ✓ IRC supérieur à 80
- ✓ Facteurs de réflexion :
 - Plafond : 0,7 à 0,9
 - Murs : 0,5 à 0,8
 - Sol : 0,2 à 0,4
 - Plan de travail : 0,3 à 0,6
- ✓ Classes GR0 ou GR1
- ✓ Éclairement compris entre 300 et 500 lux

POUR ALLER
PLUS LOIN



Fiche 1 : notions de base de l'éclairage

Le terme d'éclairage désigne les moyens matériels et techniques utilisés pour apporter et distribuer la lumière. Dans son emploi courant, le terme vise également l'effet visuel obtenu par l'emploi de ces moyens.

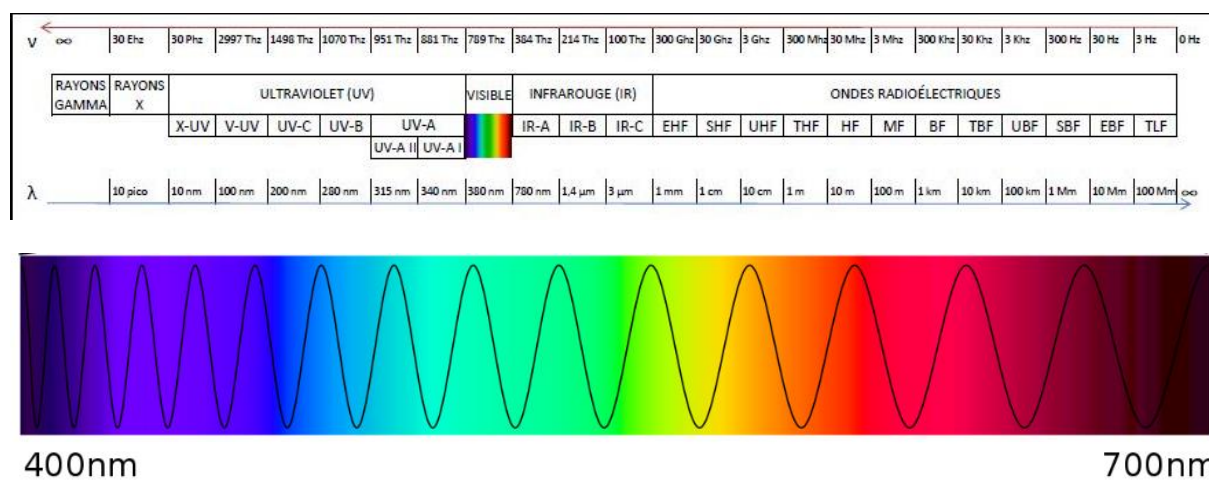
Cet effet par distribution de lumière conditionne le bien-être des personnes. L'éclairage doit par ailleurs être assuré selon des dispositions techniques et matérielles visant la préservation de la sécurité des personnes et la protection de leur santé notamment oculaire.

Pour vérifier l'atteinte de ce triple objectif, il faut pouvoir mesurer les grandeurs physiques de l'éclairage à partir d'une connaissance — de premier niveau — de ce qu'est la lumière.

La lumière

Considérée de la façon la plus simple, la lumière est un rayonnement perçu par l'œil, émis par un corps incandescent ou luminescent.

La partie visible de ce spectre va de 360 à 780 nm¹². En deçà de 360 nm, le rayonnement est ultraviolet ; au-delà de 780, il atteint l'infrarouge. La lumière visible par nos yeux n'est par conséquent qu'une partie très limitée du spectre des longueurs d'onde :



Grandeurs photométriques de l'éclairage

Les deux termes d'éclairage et de lumière apparaissent indissociables quoiqu'ils désignent chacun, deux notions distinctes. Parmi les grandeurs photométriques de l'éclairage, deux — l'éclairement et la luminance — sont à considérer attentivement pour leur implication forte dans la qualité de la lumière et des ambiances physiques de travail. Ces deux grandeurs doivent être conjuguées avec celles des flux lumineux et de l'intensité lumineuse (voir détail ci-après).

¹² Le nanomètre (nm, égal à 1 milliardième de mètre) est l'unité de mesure des longueurs d'ondes générées par un rayonnement électromagnétique

Leur connaissance est indispensable pour comprendre les constituants fondamentaux de l'éclairage.

Ces notions de flux lumineux, d'éclairement, de luminance, température de couleur et IRC (indice de rendu des couleurs) sont présentées ici dans leur formulation la plus simple.

Elles concernent principalement l'éclairage artificiel, quoique l'éclairement et la luminance permettent également d'apprécier la qualité de l'éclairage naturel.

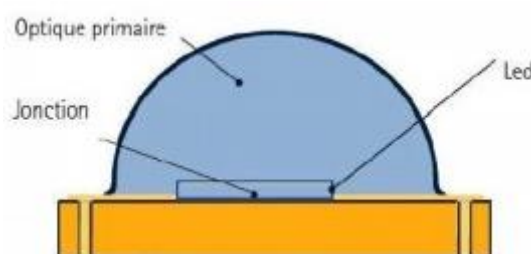
Flux lumineux

Il s'agit de la quantité de lumière émise par une source, une lampe LED par exemple fixée (ou non) dans son luminaire¹³.

Le flux lumineux est une donnée du fabricant. L'utilisateur ne peut pas l'augmenter. Il peut en revanche le diminuer si la lampe est équipée d'un driver supportant la gradation (donc dimmable).

Son unité de mesure est le Lumen (lm).

Le flux lumineux d'une LED est un rayon émis de façon directionnelle. Sa couverture le plus souvent en forme de « demi-sphère » (dite optique primaire) disperse ce flux dans une aire d'ordre hémisphérique :



Toutes les sources de l'éclairage artificiel qui ont précédé les LED avaient une distribution spatiale du flux lumineux beaucoup plus large, le plus souvent à 360°.

Éclairement

Lorsque le flux lumineux arrive sur une surface, il y a un éclairement mesuré en lux.

Éclairement en lux (ou lx) = flux lumineux en lm divisé par la surface en m² : 1 lux = 1 lm/unité de surface (par convention, 1 m²).

Le lux mesure et caractérise l'effet lumineux d'un lumen sur la surface sur laquelle la lumière (de la LED ou du soleil) est projetée. Alors que le lumen mesure la quantité de lumière émise par une source lumineuse, le lux caractérise son effet sur 1 m² de surface. L'éclairement est cet effet ainsi mesuré.

¹³ Le terme de luminaire désigne l'ensemble constitué par l'ampoule et ce qui la porte ou la contient : un pavé fixé en faux plafond, un lampadaire, etc.

L'unité lux constitue le moyen d'exprimer l'éclairage souhaitable pour accomplir une activité (peu importe laquelle) à l'endroit qui lui est dédié. Elle permet ainsi de caractériser le confort lumineux attendu d'un éclairage¹⁴.

Un décideur de l'immobilier s'adressant à des éclairagistes pour passer commande d'une rénovation de l'éclairage d'un site pourra par exemple exprimer ses besoins de cette manière : « ici il nous faut 350 lux, là 200 doivent suffire et partout ailleurs il nous semble que 400 lux sont nécessaires ». Ses interlocuteurs sauront quoi faire de ces quantités de lux ainsi visées par ordre de grandeurs. Le descriptif précis des locaux qu'ils auront relevé sur place leur permettra de vérifier la validité de cette estimation ou de la corriger si elle n'apparaît pas adaptée. Ils pourront alors procéder à leur étude de l'éclairage à proposer. Cette méthodologie dont l'observation est requise pour déployer la technologie LED doit permettre d'atteindre le double objectif de confort au travail et d'efficacité énergétique qui lui est assigné.

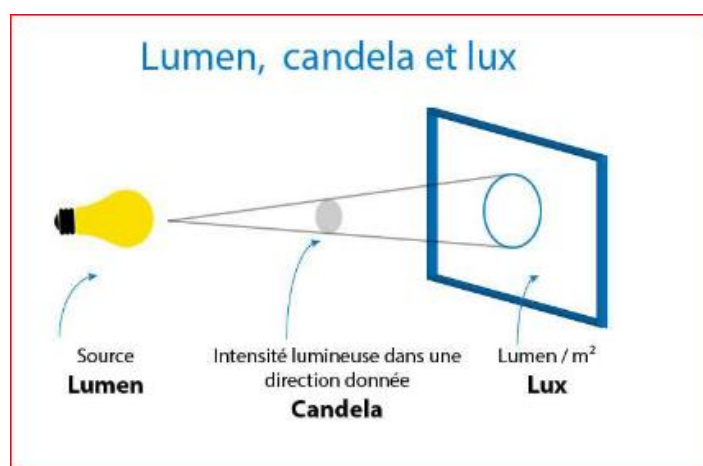
Luminance

Les yeux ne perçoivent que la luminance. Elle est liée dans le langage courant à la brillance et à l'éblouissement.

La luminance caractérise l'intensité lumineuse d'une source de lumière dans une direction donnée (dont la mesure serait à diviser par la surface émissive apparente). Elle résulte également de l'apparence lumineuse des surfaces qui reçoivent cet éclairage et le réfléchissent à leur tour.

La luminance permet de caractériser l'éblouissement généré, à la fois par un éclairage et par les surfaces réfléchissantes (surfaces polies, brillantes, à effet miroir, etc.) qui reçoivent sa lumière.

La luminance se mesure en recourant à des appareils (luminancemètres) dont l'emploi réservé à des professionnels de l'éclairage, et suppose un savoir-faire spécifique. Son unité de mesure est la candela.



Nos yeux perçoivent les rayons de lumière naturelle ou artificielle sans regarder et encore moins se fixer sur leurs sources. Ils perçoivent tout autant la réflexion de la lumière par les toutes les surfaces qui la reçoivent.

¹⁴ Si l'éclairage n'est pas le seul paramètre à prendre en compte pour évaluer le confort visuel procuré par l'éclairage, il est le premier d'entre eux.

L'éblouissement qui caractérise une forte luminance nous gêne ou peut nous aveugler dans le pire des cas. Cet éblouissement est dit « d'inconfort » (gêne) ou « d'empêchement » (aveuglement).

L'éblouissement par réflexion sur les surfaces de travail peut être évité par une disposition latérale de l'opérateur par rapport à l'angle de réflexion de la lumière. Il peut par ailleurs être éliminé par le choix des luminaires, le déplacement des postes de travail ou une modification de l'apparence des surfaces réfléchissant la lumière.

Un indice de cotation de la luminance a été conçu sous la dénomination UGR¹⁵. Cet indice UGR indique soit la luminance dégagée par la source lumineuse d'un luminaire, soit la luminance générée par le même luminaire dans l'ensemble du lieu où il figure compte tenu des caractéristiques de ce lieu : type de local, aspect immobilier, aménagement, occupation, etc.¹⁶

S'agissant des locaux d'activité de bureau, l'UGR des luminaires doit être inférieur à « 19 »¹⁷ sans descendre en dessous de 16.

Alors qu'elle est la seule grandeur photométrique véritablement perçue par l'œil, cette notion de luminance est difficilement mesurable.

La formule de calcul de son unité correspond au quotient de l'intensité lumineuse d'une surface réfléchissant la lumière naturelle ou artificielle qu'elle reçoit, mesurable en lux, par l'aire de cette surface. Dit plus simplement, la luminance traduit la brillance d'une surface réfléchissante compte tenu de l'éclairement qu'elle reçoit.

Pour comprendre l'imbrication de ces quatre grandeurs photométriques de l'éclairage, il faut les considérer de la façon suivante :

- Une source lumineuse (d'une lumière électrique par exemple) diffuse un flux lumineux mesurable en lumens (lm) dispersé jusqu'à la LED dans toutes les directions d'un espace, de façon directionnelle depuis la LED ;
- Ce flux a, dans une direction donnée par exemple d'un plan de travail, une intensité particulière exprimée en candéla (cd) ;
- Cette même surface reçoit un éclairage mesurable en lux (lx) ;
- Ainsi éclairée, cette surface renvoie/réfléchit une partie de l'éclairement reçu, en l'occurrence une luminance exprimée en candéla par mètre carré (cd/m²).

¹⁵ Unified glare (éblouissement) rating (taux)

¹⁶ Cette luminance d'ensemble d'un local compte tenu de ses parois vitrées et de l'aspect plus ou moins réfléchissant de ses surfaces verticales et horizontales est mesurable par l'emploi d'un luminancemètre.

¹⁷ Nous verrons que l'étude d'éclairage d'un projet de déploiement des LED permet de calculer la luminance d'ensemble des locaux dans lesquels la LED est/sera installé. Elle doit dans tous les cas être indiquée.

Synoptique des grandeurs photométriques :

Grandeur	Unité	Définition	Abréviation	Utilisation
Intensité lumineuse	Candela	Flux lumineux par angle solide	Cd	Mesure du flux émis par une source ou un luminaire dans une direction. Est particulièrement approprié pour les sources ou luminaires directifs.
Flux lumineux	Lumen	Flux lumineux total	Lm	Mesure du flux total émis par une source ou un luminaire.
Eclairement lumineux	Lux	Flux lumineux par surface (Lm/m ²)	Lx	Mesure du flux sur une surface (au sol, sur un bureau...) Utilisé notamment pour préciser les valeurs exigées dans les différentes pièces d'un bâtiment, voir norme d'éclairage intérieur
Luminance lumineuse	Candela par m ²	Flux lumineux par angle solide divisé par la surface apparente de la source	Cd/m ²	Seule grandeur perceptible par l'œil. L'UGR est calculé à partir de cette grandeur fondamentale pour évaluer l'éblouissement.

Les grandeurs physiques de l'éclairage sont mesurables au moyen, en particulier, des appareils utilisés pour leur métrologie.

Température de couleur

La température de couleur est exprimée en kelvin.

Les différentes teintes blanches de la lumière artificielle sont chacune plus ou moins prononcées. Il est possible de faire varier le spectre chromatique de la lumière artificielle selon l'échelle suivante :



Rapporté à des locaux, l'effet visuel des températures de couleur peut être représenté de la façon suivante¹⁸ :



2700 Kelvin



3000 Kelvin



4000 kelvin



6500 kelvin

Les clichés qui précèdent permettent de voir pourquoi les locaux d'activité tertiaire se sont vu recommander pour les LED une lumière de 3 000 k à 5 000 k. À moins de 3 000 k, l'éclairage est trop sombre, au-dessus de 5000, il génère une luminance excessive aggravée par celle des écrans des postes de travail et des documents ou papiers à fond blanc¹⁹.

S'agissant de cette recommandation, la brillance de l'éclairage LED apporte là encore une évolution. Pour les locaux tertiaires, la température de couleur à recommander apparaît désormais dans la fourchette 3 000 k – 4 000 k plus favorablement appréciée par l'ensemble des utilisateurs. Au-dessus de 4 000 k, la luminance est le plus souvent trop importante et peut créer de l'inconfort²⁰.

La LED conduit ainsi à considérer le paramètre de température de couleur avec une attention plus soutenue que ne l'exigeaient les éclairages antérieurs.

¹⁸ L'échelle chromatique en kelvin porte un paradoxe : plus la valeur de température de couleur augmente plus la lumière blanche est de couleur froide, et inversement. Pas d'inquiétude, vous avez bien compris !

¹⁹ Une surface claire (couleurs claires des cloisons et plafonds et des documents papier) génère une luminance plus importante qu'une surface sombre

²⁰ Un calcul des effets des éclairages LED notamment en fonction de l'indice K est possible et recommandé dans la phase préparatoire d'un projet de rénovation d'un éclairage. Le recours par les éclairagistes à un outil de calcul permet de produire des simulations visuelles de ces effets.

Indice de rendu des couleurs (IRC)

L'IRC mesure la capacité d'un éclairage à restituer les différentes teintes d'un objet. Il varie de 0 à 100 sur l'échelle conventionnelle qui en a été fixée. L'indice maximal de 100 correspond au rendu des couleurs de la lumière du soleil à son zénith.

L'IRC est une unité de mesure de la qualité de l'éclairage à prendre en compte pour le confort visuel. Elle est inopérante vis-à-vis de l'efficacité énergétique de l'éclairage.

Les locaux d'activité tertiaire nécessitent un **IRC > à 80**.

Les notions qui précèdent traduisent les caractéristiques physiques de la lumière de l'éclairage.

Elles portent également des indications à observer avec attention pour veiller au confort visuel des utilisateurs de l'éclairage ainsi que pour la protection de leur bien-être et de leur santé. Cet enjeu majeur a nécessité l'édiction de règles pour encadrer la conception, la fabrication et la mise à disposition des équipements d'éclairage.

Métrologie

Mesure de l'éclairement

La mesure de l'éclairement accomplie par l'emploi de luxmètres apparaît aisée du fait de l'utilisation d'appareils étalonnés pour l'obtention immédiatement lisible des mesures des lux. L'étalonnage des luxmètres utilisés par les médecins du travail du MEFSIN n'est pas indispensable. Si les appareils sont utilisés conformément aux indications et conditions d'emploi de leurs fabricants, les éventuelles valeurs d'incertitude ne remettent pas en cause la validité des mesures alors accomplies.

Mesure de la luminance

La mesure ciblée de la luminance suppose l'emploi d'un appareil spécifique : un luminancemètre dont l'utilisation doit être dûment avisée pour être utile.



En pratique, l'emploi de cet outil spécifique relevant des professionnels de l'éclairage reste peu courant.



Fiche 2 : la note de calcul au centre des prestations des éclairagistes

La note de calcul produite par les éclairagistes à l'appui de leur projet de prestation de vente et d'installation d'un éclairage constitue un élément de première importance dans la phase de gestion de projet.

La note de calcul y constitue un élément de référence à examiner avec attention. À défaut, un projet de déploiement de l'éclairage LED s'exposerait au risque très élevé de manquer son double objectif de confort au travail et de maîtrise de la consommation d'énergie.

L'exemple suivant d'une note de calcul est le résultat de l'utilisation du logiciel DIALUX couramment utilisé par les éclairagistes pour la mesure de la pertinence de leurs propositions commerciales. Les différentes étapes qui suivent sont destinées à indiquer la méthodologie à observer pour une exploitation utile et efficace de la note de calcul ainsi établie.

Contenu

Page de garde	1
Contenu	3
Liste de luminaires	4

Terrain 1 - Bâtiment 1 - Étage 1

Pièce 1

Résumé / Décor lumineux sans lumière du jour	5
Résumé / Décor lumineux pour les quotients de lumière du jour	7
Objets de calcul / Décor lumineux sans lumière du jour	9
Objets de calcul / Décor lumineux avec lumière du jour avec gradation spécifique	11
Objets de calcul / Décor lumineux avec lumière du jour sans gradation spécifique	13
Objets de calcul / Décor lumineux pour les quotients de lumière du jour	15
Groupes de commande	17

Liste des équipements proposés

Dans un rapport DIALUX qui doit être remis à l'appui d'une proposition commerciale d'un éclairage LED, doivent figurer la désignation et les caractéristiques techniques des équipements retenus dans la note de calcul pour permettre de vérifier que ces équipements correspondent aux besoins d'éclairage indiqués dans l'appel d'offres²¹.

Les indications et précisions devant figurer à cet endroit de la note de calcul visent :

- La quantité de luminaires à poser ou qui ont servi à réaliser la note de calcul ;

²¹ Le donneur d'ordre est appelé à exprimer le besoin d'éclairage de façon générale et il revient aux éclairagistes d'affiner cette expression en fonction des données contextuelles du projet d'installation d'un éclairage LED.

- La marque, la référence du fabricant et la désignation des luminaires ou d'un seul proposés en plusieurs exemplaires ;
- La puissance des luminaires ;
- Leur flux et leur rendement lumineux.


Liste de luminaires

Φ_{total}	P_{total}	Rendement lumineux				
9000 lm	68.0 W	132.4 lm/W				
Pce	Fabricant	Article n°	Désignation	P	Φ	Rendement lumineux
2	SYLVANIA	2023626	OPTIX R 600 3L HO 4K ALU SSA01	34.0 W	4500 lm	132.4 lm/W

Doit figurer également la fiche produit du luminaire :

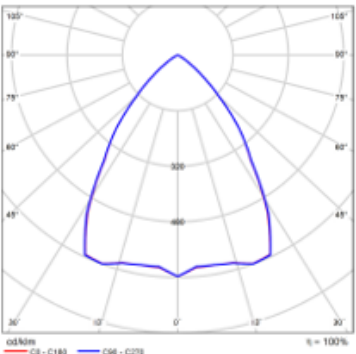
Fiche technique de produit

SYLVANIA - OPTIX R 600 3L HO 4K ALU SSA01



Article n°	2023626
P	34.0 W
Φ_{Lampe}	4500 lm
$\Phi_{Luminaire}$	4500 lm
η	100.00 %
Rendement lumineux	132.4 lm/W
CCT	4000 K
CRI	80

Courbe photométrique du luminaire



T° de couleur de lumière du luminaire

Indice de rendu des couleurs : CRI ou IRC

Diagramme UGR (SHR: 0.25)

Évaluation éblouissement selon UGR												
z (°)	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
15	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
30	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
45	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
60	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
75	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
90	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
105	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
120	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
135	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
150	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
165	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
180	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0

La grille d'évaluation de l'éblouissement du luminaire fournie par le constructeur permet, comme son nom l'indique, d'évaluer le facteur d'éblouissement du luminaire suivant les critères de réflexion de l'environnement de la pièce.

Dans la majorité des cas le calcul de l'éblouissement potentiel tient compte des degrés suivants de réflexion de la lumière des parois des locaux :

- Plafond : 70,0 %
- Murs : 50,0 %,
- Sol : 20,0 %

Pour la simulation du système d'éclairage retenu dans cet exemple de note de calcul a été envisagé le cas d'une salle de réunion²² dans laquelle le facteur d'éblouissement (UGR) doit être inférieur à 19.

En zoomant sur la grille d'évaluation de l'éblouissement du luminaire proposé, le risque d'éblouissement (cercles rouges) apparaît bien inférieur à la limite requise :

Evaluation éblouissement selon UGR											
ρ Plafond		70	70	50	50	30	70	70	50	50	30
ρ Murs		50	30	50	30	30	50	30	50	30	30
ρ Sol		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Taille pièce X Y		Visée perpendiculaire vers axe des lampes					Visée longitudinale vers axe des lampes				
2H	2H	14.9	15.8	15.2	16.0	16.3	14.9	15.8	15.1	16.0	16.2
	3H	14.8	15.6	15.1	15.8	16.1	14.7	15.6	15.0	15.8	16.1
	4H	14.7	15.5	15.0	15.7	16.0	14.7	15.4	15.0	15.7	16.0
	6H	14.6	15.3	14.9	15.6	15.9	14.6	15.3	14.9	15.6	15.9
	8H	14.6	15.3	14.9	15.6	15.9	14.5	15.2	14.9	15.5	15.8
4H	12H	14.5	15.2	14.9	15.5	15.8	14.5	15.2	14.9	15.5	15.8
	2H	14.8	15.5	15.1	15.8	16.1	14.7	15.5	15.1	15.8	16.1
	3H	14.6	15.3	15.0	15.6	15.9	14.6	15.2	14.9	15.6	15.9
	4H	14.5	15.1	14.9	15.5	15.8	14.5	15.1	14.9	15.4	15.8
	6H	14.4	15.0	14.9	15.3	15.7	14.4	14.9	14.8	15.3	15.7
8H	8H	14.4	14.9	14.8	15.3	15.7	14.4	14.9	14.8	15.2	15.7
	12H	14.4	14.8	14.8	15.2	15.6	14.3	14.8	14.8	15.2	15.6
	4H	14.4	14.9	14.8	15.3	15.7	14.4	14.9	14.8	15.2	15.7
	6H	14.3	14.7	14.8	15.1	15.6	14.3	14.7	14.8	15.1	15.6
	8H	14.3	14.6	14.7	15.1	15.5	14.3	14.6	14.7	15.0	15.5
12H	12H	14.2	14.5	14.7	15.0	15.5	14.2	14.5	14.7	15.0	15.5
	4H	14.4	14.8	14.8	15.2	15.6	14.3	14.8	14.8	15.2	15.6
	6H	14.3	14.6	14.7	15.1	15.5	14.3	14.6	14.7	15.0	15.5
	8H	14.2	14.5	14.7	15.0	15.5	14.2	14.5	14.7	15.0	15.5
Variation de position de l'observateur pour écartement S entre luminaires											
S = 1.0H		+2.6 / -6.2					+2.6 / -6.4				
S = 1.5H		+3.9 / -14.5					+4.0 / -15.3				
S = 2.0H		+5.8 / -28.9					+5.9 / -29.2				
Tableau standard		BK00					BK00				
Nombre à ajouter pour la correction		-3.7					-3.7				
Indice d'éblouissement en fonction du 4500lm Flux lumineux total											

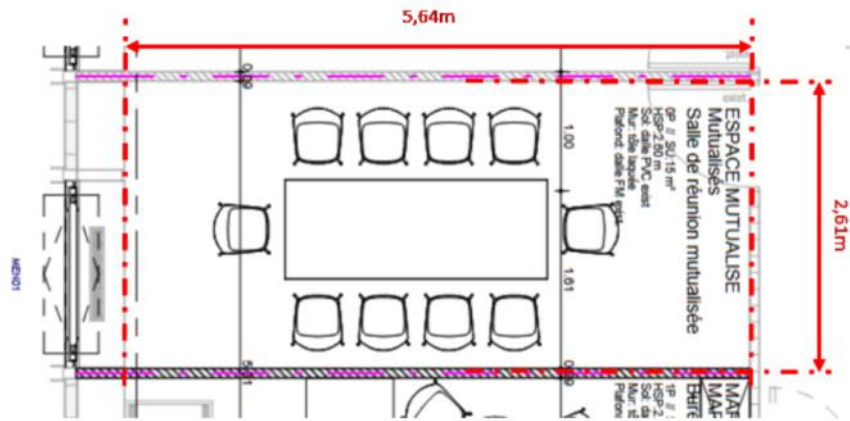
Diagramme UGR (SHR: 0.25)

Critères et hypothèse de calcul

Cette étape vise à définir les différents critères contextuels à retenir pour réaliser la note de calcul, en l'occurrence l'environnement immobilier et mobilier des luminaires.

²² Cet exemple conviendrait selon les mêmes paramètres pour un bureau notamment collectif

Salle de réunion Tour A étage 20



Données de contexte :

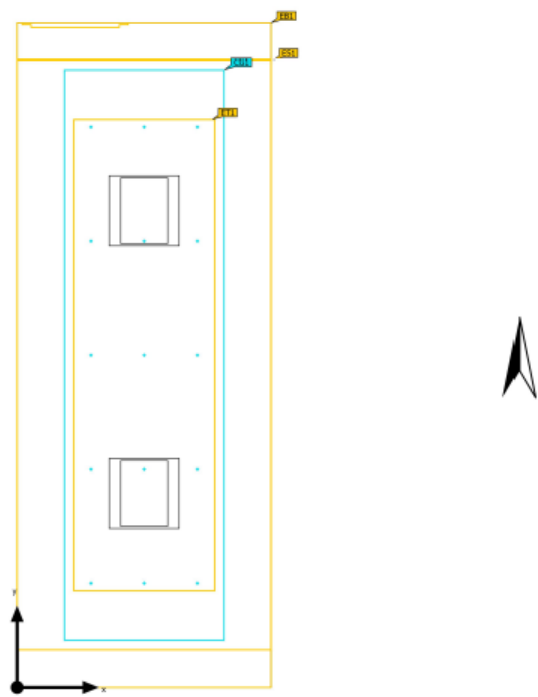
- Indication du lieu et de sa destination
- Dimension de la fenêtre (des fenêtres le cas échéant) : dormant hauteur 1,46 largeur 1.70 et ouvrant hauteur 1,32 largeur 1.32 (jour 1.18*1,18) donnant côté sud
- Dimension allège : hauteur 1.10m profondeur 0.43m
- Dimension de la porte de la pièce : hauteur 2.00m largeur 0.90m
- Hauteur du plafond de 2,60 m
- Facteur de maintenance de l'installation d'éclairage : 0,7
- Degrés de réflexion : plafond : 70 %, murs : 50 % et sol : 20 %
- Éclairage de 500 lux sur la table à 0,80 m du sol
- UGR < 16 et IRC ≥ 80

Contraintes :

En vision rapprochée dans la zone de travail (zone dans laquelle est effectuée la tâche visuelle), le facteur d'uniformité doit être supérieur ou égal à 0,7.

Ce qui nous donne dans le rapport, en jaune les éléments issus des hypothèses de calcul.

Bâtiment 1 · Étage 1 · Pièce 1 (Décor lumineux sans lumière du jour)
Résumé

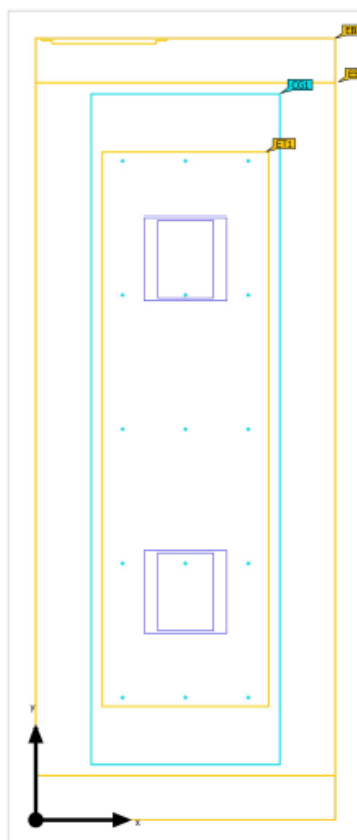


Surface au sol	12.18 m²		
Degrés de réflexion	Plafond: 70.0 %, Murs: 50.0 %, Sol: 20.0 %		
Facteur de maintenance	0.70 (global)		
		Hauteur de pièce éclairée	2.600 m
		Hauteur de montage	2.600 m

Résultats de calcul

Premier résultat : indication du flux moyen obtenu sur la zone à éclairer (ici CG1 indiqué en bleu à l'endroit de la table de réunion).

Objets de calcul



Bâtiment 1 · Étage 1 · Pièce 1 (Décor lumineux sans lumière du jour)

Objets de calcul

Surfaces de calcul

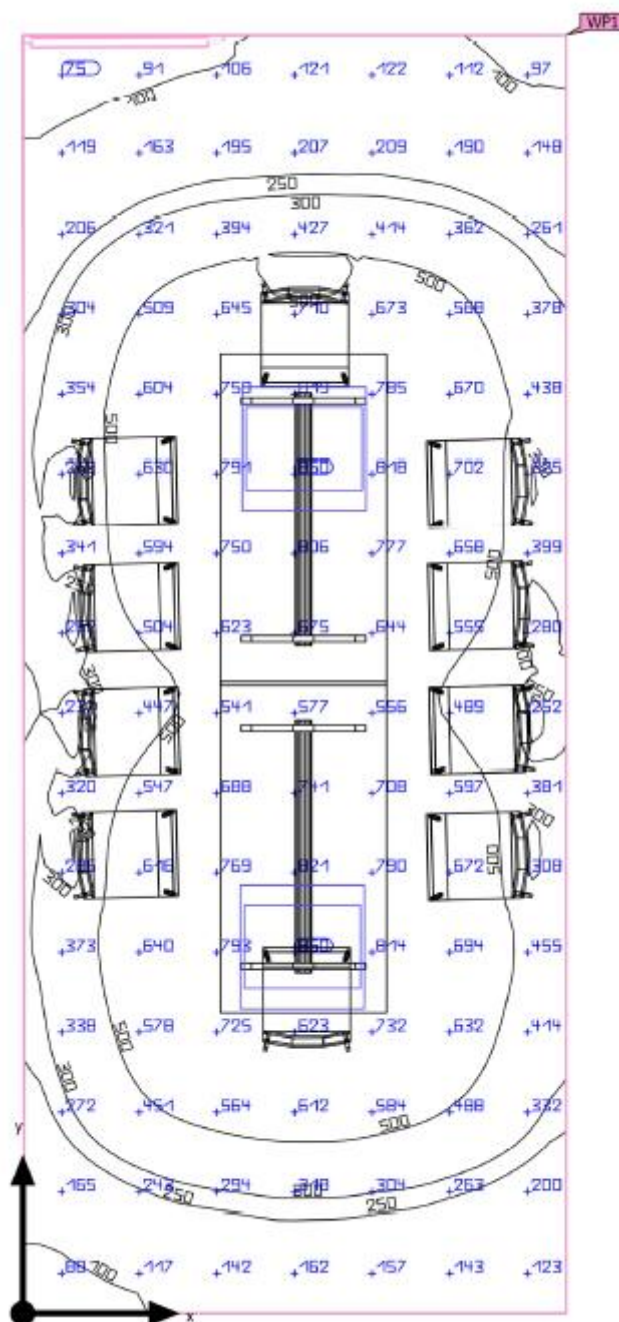
Propriétés	E	E_{min}	E_{max}	g_1	g_2	Index
Salle de réunion Éclairage perpendiculaire Hauteur: 0.800 m	554 lx	472 lx	666 lx	0.85	0.71	CG1

Profil d'utilisation: Préréglage DIALux (34.2 Standard (bureau))

On note que le flux moyen est de 554 lux et que le facteur d'uniformité U_0 noté ici g_1 est $> 0,7$.

Second résultat : il est obtenu par la visualisation des *isophotes* de l'éclairage proposé, à savoir des courbes tracées sur une surface indiquant des points d'égale luminosité. Ces courbes où isophotes indiquent la répartition de l'éclairage dans la pièce où l'éclairage proposé va être

installé, et de repérer les zones déficientes en lumière artificielle ainsi que les zones d'ombres dues à des obstacles :



Dans le cas présent la zone de la table reçoit un éclairage de 500 lux alors que dans la zone environnante il est autour de 200 lux. Ces isophotes sont très satisfaisantes par leur effet de contraste entre les deux zones. Elles indiquent un éclairage sans risque de fatigue visuelle, quelle que soit la durée de présence dans la salle de réunion.



Fiche 3 : exemple d'un pavé à LED proposé à la vente

Bandeau synoptique du produit :

PLAFONNIER LED 595x595mm 36W - 3780 LM - 4000K



36 W : puissance consommée.

3780 LM : puissance lumineuse du pavé LED indiquée en lumens.

4000 K : température de couleur de la lumière correspondant à un blanc très clair (à partir de 4500 k [à éviter] le blanc est de type bleuté)



Le marquage CE indique la conformité d'un produit aux exigences de la législation européenne en matière de santé, de sécurité et d'environnement. Cette déclaration de conformité appartient au fabricant. Elle n'est pas une marque de certification, mais une attestation déclarative de conformité permettant au produit de circuler librement sur le marché. Le marquage CE est ainsi destiné aux organes de contrôle du marché plutôt qu'à l'information des consommateurs.



Mention de la conformité du produit à une directive européenne limitant l'incorporation de matières ou produits toxiques dans sa fabrication.



Indication de la conformité du produit aux normes socles de compatibilité électromagnétique des récepteurs des courants forts et faibles (pour éviter qu'ils ne génèrent un champ électromagnétique environnemental de nature à altérer leur fonctionnement ou celui des appareils électriques proches).



Indication du type D3E du pavé qui à la fin (lointaine) de son fonctionnement doit être remis à un opérateur de recyclage de ce type de déchet.



Angle de projection du flux lumineux depuis la diode elle-même.



Indication de la possibilité de moduler l'intensité lumineuse de la lumière du pavé (gradation de la lumière).



Ces indices indiquent les niveaux de protection de l'article contre les pénétrations de matières solides et liquides :

- L'indice IP 20 concerne la protection de la source de lumière, l'IP 40 la protection de l'optique de couverture du luminaire ;
- Le premier indice vise la protection contre les solides, de 0 (aucune protection) à 6 protection étanche (y compris contre l'entrée de poussière) ;
- Le second vise la protection contre les projections de liquide de 0 à 7 (à 7 un article est submersible sans dommage jusqu'à un mètre pendant 30 minutes²³).

Il est donc tout à fait normal que les luminaires de bureau présentent un indice de protection contre les entrées de liquides égal à 0.

Les IP 20 et 40 sont ceux habituellement retenus pour les pavés à LED.



Symbole de la classe II d'isolation électrique : les articles apportant ce niveau de protection contre un contact avec un conducteur ou un connecteur non protégé ne sont pas reliés à la terre (aucun de ces composants ne peut être touché sans endommager ses protections).



Groupe de risque (GR) photo biologique attaché aux LED : seuls les éclairages des GR 0 et 1 sont autorisés à la vente du « grand public » ; veiller toutefois au moment du choix d'un éclairage à ce que cette mention (obligatoire) figure effectivement dans le descriptif technique du fabricant/fournisseur.



Niveau de luminance (éblouissement) de l'article d'éclairage qui doit être inférieur à l'indice UGR 19 pour l'éclairage des activités tertiaires.

²³ Pour ce second indice numérique sont prévus les niveaux 8 et 9 de « grande submersibilité ».



Fiche 4 : confort visuel et dimensions sanitaires de l'éclairage

Les déterminants du confort visuel

L'appréciation du confort visuel dépend de nombreux paramètres : des besoins d'éclairage qu'exprime chaque personne en fonction de sa situation personnelle, de ses tâches, de son environnement, du contexte matériel dans lequel elle les accomplit ainsi que d'une combinaison de paramètres physiques : l'éclairement naturel, la luminance, le contraste, l'éblouissement et le spectre lumineux.

Trois paramètres peuvent cependant permettre une évaluation objective du confort visuel procuré en particulier par l'éclairage artificiel : les éléments mesurables de la lumière, le processus physiologique de sa perception et le champ visuel propre aux êtres humains.

Ainsi, le confort visuel de l'environnement de travail, outre un bon apport de lumière naturel, tient au rapport entre la température de couleur de la lumière et son niveau d'éclairement, ainsi qu'aux caractéristiques des équipements d'éclairage naturel et artificiel : ils doivent permettre à la fois de distribuer un éclairement adapté à la tâche à accomplir et contenir les luminances² à leurs niveaux les plus bas en permettant de moduler l'intensité lumineuse de l'éclairage.

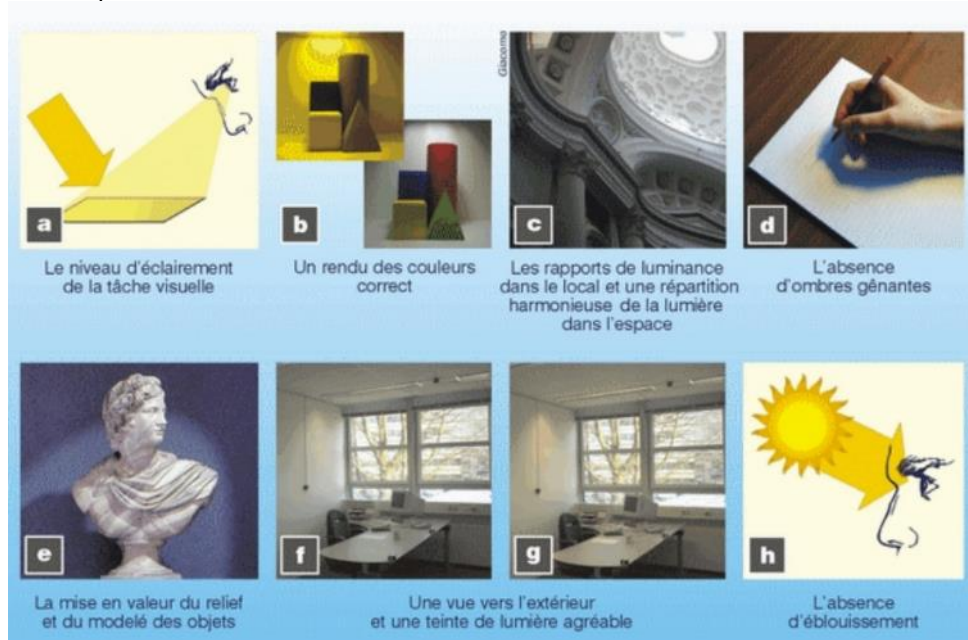
Les déterminants environnementaux du confort visuel sont :

- une vue directe sur l'extérieur pour bénéficier d'un éclairage naturel tel qu'il doit être privilégié ;
- un niveau d'éclairement²⁴ adapté à la tâche à accomplir ;
- une absence d'éblouissement : maîtrise de la luminance ;
- une répartition harmonieuse de la lumière dans l'espace : évitement des effets de contraste trop marqués ;
- une teinte de lumière agréable : importance de la température de couleur de l'éclairage.

²⁴ La notion d'éclairement correspond à la quantité de lumière projetée à l'endroit précis où on en a besoin

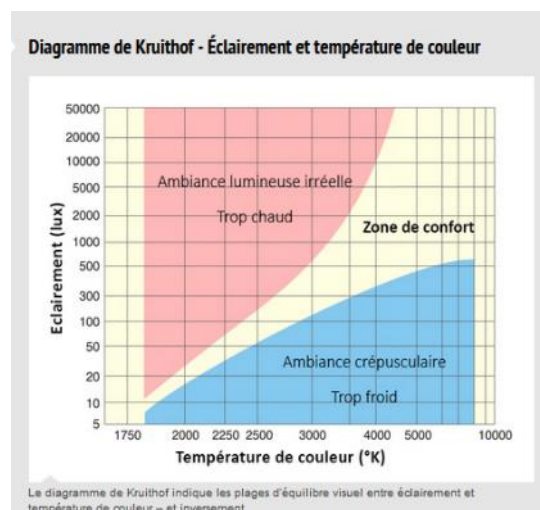
² La luminance (L) décrit la luminosité, perçue par l'œil humain, d'une surface qui renvoie de la lumière, soit en tant que source lumineuse, soit par [transmission](#) ou par [réflexion](#).

Ces paramètres peuvent être illustrés de la façon suivante :



Un diagramme dit « diagramme de Kruythof » permet de visualiser la zone de confort visuel en fonction de la variation des niveaux d'éclairement et de température de couleur de la lumière artificielle.

Les éclairagistes justifient parfois leurs offres d'éclairage en se référant à ce diagramme.



Les recommandations sanitaires en matière d'éclairage

Privilégier la lumière naturelle

La lumière a un impact significatif sur la santé humaine, tant physique que mentale, il est donc crucial de maximiser l'exposition à la lumière naturelle tout en gérant l'exposition à la lumière artificielle.

La lumière naturelle influe sur plusieurs paramètres physiologiques de santé :

- Rythme circadien²⁵ : la lumière du matin joue un rôle crucial dans la régulation du rythme circadien. L'exposition à la lumière bleue aide à synchroniser cette horloge biologique ;
- Troubles du sommeil : une exposition insuffisante à la lumière naturelle ou une exposition excessive à la lumière artificielle surtout le soir peuvent perturber ce rythme ;
- Santé mentale : la lumière naturelle a un effet positif sur l'humeur et le bien-être général en aidant à réduire le stress et l'anxiété ;
- Performances cognitives et physiques : la lumière naturelle améliore la concentration, la productivité et les performances cognitives. L'exposition à la lumière naturelle en particulier le matin peut améliorer la performance physique en augmentant la vigilance et le niveau d'énergie.

Enfin l'exposition à la lumière solaire stimule la production de vitamine D par la peau, essentielle pour la santé osseuse, la fonction immunitaire et la prévention de certaines maladies.

Pour l'éclairage d'un espace de travail, il convient donc de privilégier l'éclairage naturel (la vue sur l'extérieur doit être à hauteur des yeux, les apports solaires induits maîtrisés) et de le compléter par un éclairage artificiel général, ou localisé sur la zone de travail en fonction de la tâche.

Il est à noter que les systèmes de certification comme BREEAM, LEED et WELL prennent en compte la lumière du jour comme un paramètre indispensable au bien-être. Les trois systèmes appliquent dans ce domaine des critères tenant à l'entrée de lumière naturelle et la vue sur l'extérieur. Le dernier paramètre concerne l'atténuation des nuisances lumineuses en raison de la brillance, des reflets ou des éblouissements provoqués par la lumière du jour incidente.

L'essor des lumières LED

La Commission européenne a programmé de manière réglementaire l'interdiction progressive des lampes les plus énergivores au profit de nouvelles technologies d'éclairage plus efficaces, au rang desquelles les LED apparaissent comme étant prépondérantes (décision du 18 mars 2009).

Les sources d'éclairage traditionnelles telles que la lampe à incandescence ou la lampe fluorescente compacte sont remplacées par des dispositifs intégrant des diodes électroluminescentes (LED). Les avantages des LED tiennent à une durée de vie plus longue, une consommation énergétique moindre et des impacts environnementaux généralement plus faibles.

Comme toutes les nouvelles technologies, les produits d'éclairage utilisant des LED doivent se révéler aussi sûrs que les produits qu'ils prétendent supplanter.

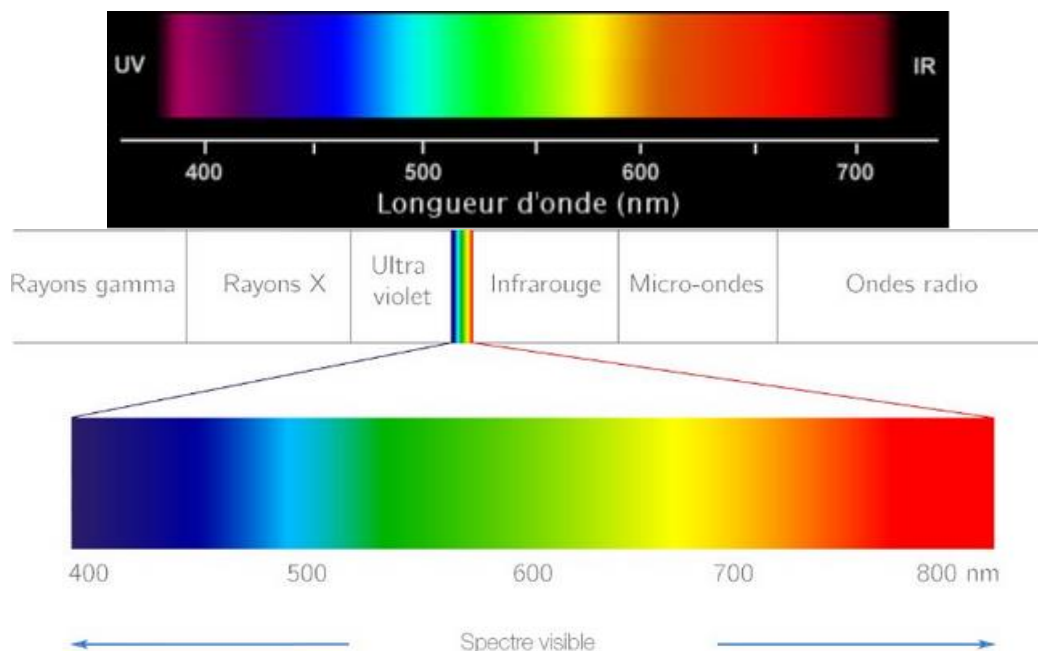
Les aspects sécuritaires de ces produits à LED sont en cours d'évaluation en analysant les interactions possibles avec le corps humain non seulement selon les usages bien connus, mais aussi selon les nouvelles utilisations qui en sont faites.

²⁵ Le rythme circadien regroupe tous les processus biologiques cycliques d'une durée d'environ 24 heures.

Le seul risque photo biologique à considérer dans le cas des LED est celui lié à la lumière visible en particulier aux faibles longueurs d'onde, c'est-à-dire la partie bleue et violette du spectre des couleurs.

Incidence de la lumière bleue

La lumière bleue est la part du spectre visible dont les longueurs d'onde vont de 380 à 450 nanomètres.



La connaissance des mécanismes de la toxicité rétinienne de la lumière bleue est encore incomplète. En particulier, les effets des expositions chroniques et de leur accumulation pendant de longues périodes sont encore à étudier et font l'objet de nombreuses recherches dans le monde entier.

Sur la base de ces différents constats, l'ANSES considère qu'il est nécessaire de restreindre la mise sur le marché « grand public » des systèmes d'éclairage à LED pour n'autoriser que des LED ne présentant pas plus de risques liés à la lumière bleue que les éclairages traditionnels, et de réduire au maximum les risques d'éblouissement.

De façon générale, l'ANSES rappelle que pour échapper à cette dominante colorimétrique, il est important de privilégier des éclairages de type « blanc chaud » (température de couleur inférieure à 4 000 K). Ses expertises et études lui ont permis de confirmer s'agissant en particulier de la lumière des LED de l'éclairage, que les équipements relevant des groupes de risque GR0 et GR1 sont sans risque pour la santé oculaire dans des conditions normales d'utilisation.

La signification de cette cotation est la suivante :

- GR0 : groupe sans risque en utilisation normale de l'éclairage et toujours sans risque en cas d'exposition (vue) *directe* aux LED pendant 3 heures (condition anormale d'utilisation de l'éclairage);
- GR1 : groupe sans risque en utilisation normale de l'éclairage. Si une exposition *directe* à la lampe intervient (condition anormale d'utilisation), la limite d'exposition sans risque pour la santé oculaire sera atteinte au bout d'une heure (cette limite pourrait être atteinte selon les situations au bout d'un temps plus long d'exposition *directe* pouvant aller jusqu'à 3 heures²⁶).

Incidence des modulations temporelles ou effets stroboscopiques de la lumière des LED

L'effet stroboscopique est un phénomène qui survient lorsque la lumière émise par une source LED clignote rapidement à une fréquence imperceptible pour l'œil humain. Il peut avoir des conséquences sur la santé et la sécurité (fatigue visuelle, maux de tête, sensation d'inconfort, perception erronée du mouvement, erreurs dans l'exécution de tâches précises)

Ces modulations tiennent à une variation de la qualité du courant entrant à la source de l'éclairage. La lumière des sources artificielles nous paraît continue, mais elle est bien souvent éteinte et allumée à une fréquence trop élevée pour que ce phénomène soit perçu par l'œil humain. Il faut que le courant soit continu (alors qu'il arrive alternatif) et qu'il soit d'une tension « lissée ».

En effet, les **LED** ont un principe physique qui ne leur permet pas de fonctionner directement sur un réseau électrique en 230V et 50 Hz. Il est donc nécessaire d'intercaler un élément appelé « driver » entre le réseau type EDF et la source.

Ce module technologique joue un rôle important dans la qualité de la lumière diffusée par la LED. Ainsi, les luminaires sont connectés via leurs drivers. Les drivers de qualité offrent des services supplémentaires aux différents usagers, de l'installation jusqu'à l'usage de l'éclairage au quotidien. Les économies d'énergie significatives constatées depuis plusieurs années découlent de cette meilleure gestion, qui permet de faire varier l'intensité lumineuse en fonction de l'activité (détection de présence par exemple) et des apports de lumière naturelle.

Il est donc recommandé de porter une attention particulière aux caractéristiques des drivers des LED au moment du choix de cet éclairage pour éviter l'effet stroboscopique.

Pour rationaliser les approvisionnements, les luminaires peuvent être équipés d'un driver compatible avec plusieurs puissances de modules LED.

Le fabricant est donc responsable de la qualité de l'éclairage LED et de l'effet de scintillement comme de l'effet stroboscopique.

² Les activités professionnelles qui peuvent générer des situations anormales d'exposition directe aux ampoules LED sont notamment celles de leurs fabricants lors des phases de test et de contrôle-qualité avant la commercialisation des produits.

Recommandation d'un dispositif de variation/gradation de l'intensité lumineuse des LED

Si la variation est à recommander autant pour le confort visuel que pour la performance énergétique d'une installation d'éclairage, elle revêt un caractère obligatoire pour les rénovations de l'éclairage des bâtiments existants depuis l'arrêté modifié du 3 mai 2007 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants.

Une étude à grande échelle conduite en 2013²⁷ a montré que le bien-être au travail augmente avec la possibilité offerte aux personnes de régler la quantité lumineuse des éclairages dont elles disposent en fonction de leurs souhaits ou besoins.

S'agissant de l'éclairage naturel, cela renvoie à la disposition de protections sur les vitrages des façades des constructions contre une entrée de lumière diurne trop importante. La présence de stores (de type vénitien) sur les vitrages des façades des bâtiments est à cet égard indispensable.

S'agissant de l'éclairage électrique, la mise à disposition d'un dispositif de modulation de son intensité lumineuse est désormais possible avec la technologie LED.

L'arrêté du 3 mai 2007 modifié impose l'observation de mesures destinées à renforcer la performance énergétique des bâtiments existants tertiaires. Dans ce cadre, les opérations de rénovation de l'éclairage artificiel doivent obligatoirement comporter :

- des sources de lumières artificielles à gradation de puissance, régulées automatiquement en fonction de l'éclairage naturel du local ;
- des dispositifs de régulation en fonction de l'éclairage naturel couvrant chacune une surface maximale de 25 m².

Recommandations pour un bon confort visuel par éclairage LED

De façon plus générale, un bon éclairage artificiel permet au plus grand nombre d'individus d'accomplir sans fatigue ni gêne sensible, les tâches visuelles nécessaires à leur activité. Les préconisations suivantes concernant l'utilisation d'un éclairage artificiel par LED dans les lieux de travail, mais aussi dans les lieux de passage ou de dégagement peuvent être appliquées. Ces recommandations portent sur le choix des lampes LED, des luminaires et des contraintes techniques.

• Le choix des lampes

Il est préconisé de choisir des lampes afin de réduire la composante bleue du spectre et ainsi limiter les risques photo biologiques.

Ainsi il faut veiller à :

- utiliser des lampes LED classées dans le groupe de risque 0 selon la norme NF EN 62 471,
- choisir des lampes LED de teintes « blanc chaud » plutôt que « blanc froid » (proportion de lumière bleue plus faible).

Il sera exigé du fournisseur qu'il communique le classement « groupe de risque » du système d'éclairage.

²⁷ Etude Zumtobel publiée sous l'ISBN 978-3-902940-40-7. Cette étude conduite à l'époque (encore récente) de l'éclairage fluorescent trouve une validité persistante de ses conclusions avec la puissance lumineuse des LED.

- **Le choix des luminaires :**

Il est recommandé de respecter les normes relatives au confort et à l'ergonomie visuelle en diminuant les niveaux de luminances des LED, notamment par des dispositifs optiques ou des luminaires adaptés pour limiter les risques d'éblouissement.

Ainsi il est préférable :

- d'utiliser plusieurs lampes LED de faible puissance qu'une Lampe LED de forte puissance dans une installation de luminaire ;
- d'équiper les luminaires contenant les LED, de dispositifs empêchant la vue directe sur les sources LED. Les lampes avec des grilles de défilement ou avec un éclairage indirect (lampe non vue) seront privilégiées pour les espaces de travail.

Les lampes avec des grilles de défilement, les plaques opalisées, les lampes derrière une matière translucide ou les vasques prismatiques permettant une diffraction de la lumière seront réservées aux locaux de passage et aux locaux techniques.



Fiche 5 : éclairage naturel et protections solaires des vitrages

L'éclairage naturel est à privilégier. Il permet d'amener une lumière en forte quantité et participe au maintien de l'éveil et à la vigilance. Il participe au maintien de l'éveil et à la vigilance. Cependant, il ne doit pas entraîner de gêne visuelle, d'éblouissements ou de gêne thermique. La surface de vitrage d'un local destiné au travail ne doit pas excéder, en conception des locaux, le quart (25 %) de sa surface au sol, et ce local ne doit disposer de fenêtres que sur un seul côté.

« 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 ».

Exemple :

Pour un local de 60 m de long et 30 m de large, la surface vitrée minimale sera de $60 \times 3/4 = 45 \text{ m}^2$

Cette surface sera répartie sur l'ensemble des parois du local donnant sur l'extérieur jusqu'à une hauteur de 3 mètres du sol. Les vitrages au-dessus de cette hauteur ne sont pas pris en compte, mais participeront à l'apport de lumière naturelle.

Les espaces de travail situés à plus de 6 m d'une fenêtre ou les postes de travail sans fenêtre sont à proscrire.

Afin de permettre de faire des pauses oculaires et de regarder au loin, une vue dégagée vers l'extérieur doit être disponible à hauteur des yeux en position de travail. Pour cela, l'allège des baies vitrées devrait avoir une hauteur maximale de 110 cm.

Pour éviter le rayonnement solaire gênant sur les écrans au cours de la journée, il est utile de prévoir des protections solaires : stores ou pare-soleil, de préférence à lamelles horizontales et à l'extérieur du vitrage.

Ces protections sont constituées dans la plupart des cas par des stores fixés aux vitrages des façades des constructions. Mais la répétition d'épisodes caniculaires intenses conduit parfois à opter pour des films fixés sur les vitrages. Ces films sont destinés à améliorer le confort thermique, mais ne sont pas prévus pour moduler l'entrée de la lumière solaire.

Ces variables doivent être prises en compte pour évaluer les besoins d'éclairage artificiel²⁸ et pour identifier les protections aptes à maîtriser l'entrée de lumière naturelle dans les locaux.

²⁸ Pour des études affinées des besoins d'éclairage et des incidences thermiques de l'ensoleillement sur les constructions, les professionnels du bâtiment (notamment architectes, éclairagistes, thermiciens) prennent en compte ces données en tant que « facteur de la lumière de jour »

À cet effet, les protections à prévoir aux vitrages des ouvertures sur façades sont à considérer selon les avantages et limites de chaque type d'équipement dont la variété s'avère importante.

Stores vénitiens

Ils sont considérés comme les meilleurs équipements pour la régulation de l'éclairage naturel.

Ils figurent le plus souvent à l'intérieur des surfaces vitrées où ils sont plus faciles à installer que sur le côté opposé des vitrages.

Lorsqu'ils figurent à l'extérieur, ils prennent la forme de lames brise-soleil ou de « protections casquettes » pour renforcer leur efficacité lumineuse autant que thermique (réflexion du rayonnement UV de la lumière solaire) :



Intérieurs



Extérieurs

Avantages : directement accessibles pour leur utilisation (orientation des lamelles) et leur entretien; efficacité maximale pour la régulation de l'entrée de lumière extérieure

Inconvénient : efficacité limitée contre l'élévation des températures intérieures des locaux en période estivale

Avantages : efficacité maximale pour la régulation de l'entrée de lumière extérieure et pour la limitation du rayonnement UV de la lumière solaire

Inconvénients : exposition aux aléas météorologiques (vents forts) et difficiles d'accès pour leur entretien lorsqu'ils figurent à une hauteur de plus de deux mètres au-dessus d'un plan horizontal (sol d'un balcon ou d'une coursive)



Lames brise-soleil



Lames brise-soleil surmontées d'une
« protection casquette » au niveau le plus
élevé

Avantages : grande efficacité lumineuse et thermique ; grande résistance aux aléas atmosphériques.

Inconvénients : peuvent être exposés à un empêchement architectural ; nécessité pour leur installation d'une mission de maîtrise d'œuvre compétente vis-à-vis de ce type d'équipements ; entretien nécessitant des interventions d'ampleur ; sont préconisées notamment par le CSTB sur les façades exposées au Sud.

Stores californiens



Intérieurs



Extérieurs (lames brise-soleil verticales)

Avantage : comparativement aux vénitiens de

Avantages : idem

<p>plus grande efficacité lumineuse, ils offrent néanmoins une plus grande vue sur l'extérieur en fonction de l'orientation de leurs lamelles</p> <p><u>Inconvénients</u> : outre leur moindre efficacité que les vénitiens, ils sont davantage exposés que ces derniers au risque de dégradation de leur armature de chaînage des lamelles ; cette faiblesse augmente avec leurs dimensions.</p>	<p><u>Inconvénients</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> — moins efficaces que les lames brise-soleil horizontales ; — peuvent être exposés à un empêchement architectural ; — nécessité pour leur installation d'une mission de maîtrise d'œuvre compétente vis-à-vis de ce type d'équipements ; — leur entretien nécessite des interventions d'ampleur et coûteuses ; — sont préconisées notamment par le CSTB sur les façades exposées à l'Est et à l'Ouest, le CSTB les déconseillant pour les locaux à occupation permanente.
---	---

Stores à rouleau

 <p>Intérieurs</p>	 <p>Extérieurs</p>
<p><u>Avantage</u> : efficacité lumineuse</p> <p><u>Inconvénients</u> : effet-écran privant de la vue sur l'extérieur, effet assombrissant conduisant le plus souvent à utiliser l'éclairage électrique en compensation ; à l'extérieur forte exposition aux aléas atmosphériques, en particulier les vents violents avec un risque élevé de dégradation du tablier du store.</p>	

(Les illustrations et leurs commentaires sont extraits des publications du CSTB)

Films solaires

Ils sont destinés à titre principal à limiter l'effet thermique du rayonnement solaire sur les vitrages.

Cette fonction se traduit, de fait, par une diminution à l'intérieur des locaux de la lumière naturelle d'au moins 30 % de son rayonnement²⁹. Lors des périodes de diminution ou de disparition de la lumière solaire *directe* (ciel couvert) l'impact sur l'éclairage peut apparaître très marqué. Dans ces situations, les occupants des locaux ne manquent pas de souligner cet effet et demandent alors fréquemment le retrait de ces protections qui, collées sur les vitrages, ne laissent pas la possibilité de les retirer sans dommage³⁰.

Par conséquent une telle option n'est pas recommandée a priori.

Toutefois, pour répondre à des caractéristiques particulières sur le plan architectural par exemple, si la pose de films solaires est envisagée, il convient d'envisager une évaluation précise de leur effet sur l'éclairement naturel des locaux en saison défavorable (hiver), si possible en lien avec un éclairagiste (calcul du potentiel d'ensoleillement pour chaque façade — avec et sans filtre — au regard du nombre, du type et de la dimension des fenêtres, de la nature des vitrages, etc.).

En effet, avec le réchauffement climatique, dès lors que l'option rafraîchissement est écartée, le recours aux films solaires pour limiter l'élévation de la température intérieure des locaux de travail pourrait se multiplier. **Cette approche est, par définition, de nature à déprécier fortement l'éclairage naturel en période hivernale.**

Seule une étude préalable sérieuse, assurée par une personne compétente (autre que celui assurant la vente des films de protection), permettra de faire la part sérieusement entre gain de confort thermique et diminution de l'éclairage naturel.

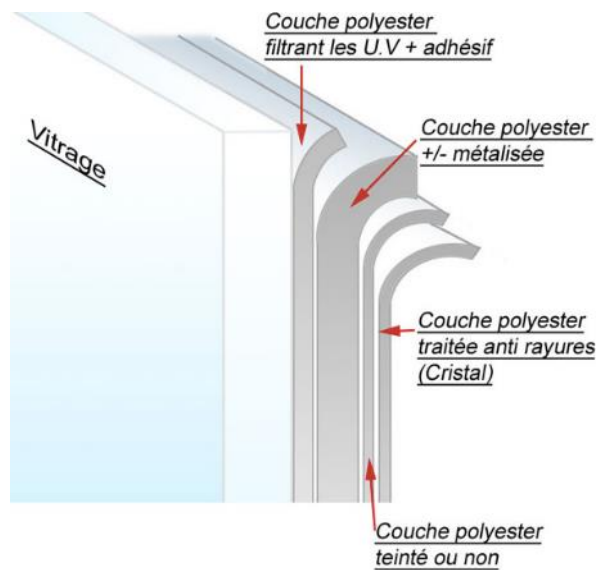
À cet égard, la norme EN-14501 applicable aux *Fermetures et stores*, en particulier les films solaires liste les éléments de *Caractérisation des performances et la classification* de ces protections au titre du *Confort thermique et lumineux*. Ces valeurs doivent être demandées aux fabricants ou fournisseurs si elles ne sont pas communiquées spontanément. Elles constituent les éléments de référence indispensables pour l'évaluation de la balance évoquée plus haut autour des points techniques suivants exprimés en pourcentage (extrait) :

- Transmission de lumière visible (TLV ou (VLT) : quantité de lumière visible qui traverse un système de vitrage, exprimée en pourcentage de l'énergie solaire totale. Un taux faible tend à fournir un meilleur contrôle de l'éblouissement. Plus cet indice augmente plus la lumière naturelle est distribuée dans les locaux au détriment de la performance isothermique. La valeur TLV dépend de l'indice VLR qui désigne le niveau de réflexion de lumière visible (VLR) ;
- Transmission solaire (T) : cet indicateur désigne la quantité d'énergie solaire (lumière visible, infrarouge et ultraviolette) qui traverse un système de vitrage ;
- Réflexion solaire (R) : indique l'énergie solaire renvoyée vers l'extérieur par le système de vitrage ;

29 Score des films solaires les plus efficaces vis-à-vis de l'entrée de la lumière dans les locaux.

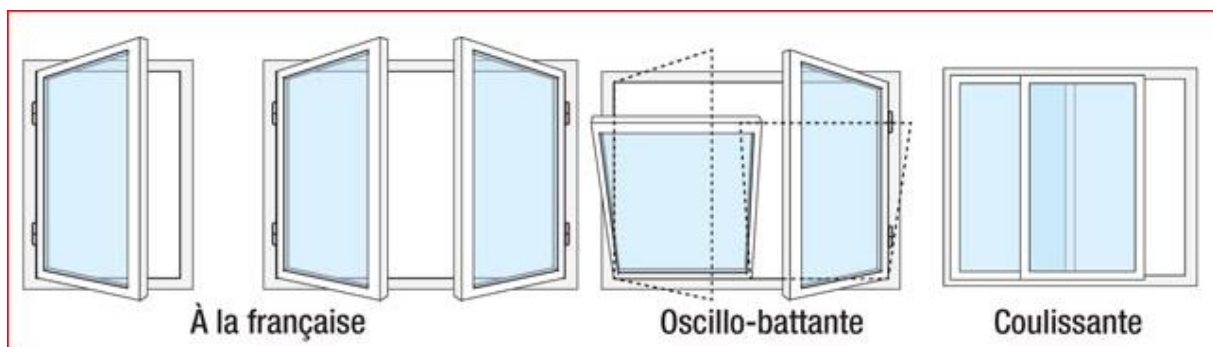
30 Le retrait de films solaires fixés par effet électrostatique (sans collage au moyen d'un fixateur de synthèse) n'est pas davantage possible sans dégradation de leur toile

- Émissivité (E) Mesure de la capacité d'une surface à absorber ou à réfléchir les rayons infrarouges lointains. Plus l'émissivité est faible, meilleure est la valeur d'isolation du vitrage.



Composants d'un film solaire (données d'un fabricant)

Pour s'y retrouver dans les types d'ouverture des fenêtres :





Fiche 6 : obligations réglementaires et normes techniques

Les dispositions à considérer sont énoncées par le Code du travail et par un ensemble de normes techniques.

Code du travail

Il priorise l'éclairage naturel au titre des obligations du maître de l'ouvrage (articles R 4213-1 à R 4213-4)³¹. Les obligations de l'employeur concernent davantage l'éclairage artificiel (articles R 4223-1 à 4223-12)³².

Éclairage naturel

Les maîtres d'ouvrage (des locaux de travail) doivent compter sur leurs architectes pour que les locaux soient « conçus et disposés de telle sorte 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 » (R4213-2) et à cet effet « comportent à hauteur des yeux des baies transparentes donnant sur l'extérieur, sauf en cas d'incompatibilité avec la nature des activités envisagées » (R 4213-3).

L'employeur doit quant à lui mettre à disposition de ses salariés des locaux disposant « autant que possible d'une lumière naturelle suffisante » (R 4223-3). La nuance tient compte des locaux que l'employeur n'a pas lui-même fait construire ou modifier dans leur structure immobilière depuis le 1^{er} janvier 1992.

Cet « autant que possible [...] une lumière naturelle suffisante » tient compte par ailleurs de l'incontournable complémentarité des éclairages naturel et artificiel de façon générale et en particulier dans les locaux de l'employeur. Si l'éclairage naturel s'y avère d'un niveau d'éclairement insuffisant pour le confort de travail et la sécurité des personnes, l'employeur devra faire en sorte qu'avec le complément apporté par l'éclairage artificiel, l'éclairage dans son ensemble permette d'« éviter la fatigue visuelle et les affections de la vue qui en résultent » et « de déceler les risques perceptibles par la vue » (R 4223-2).

Le recours à la lumière naturelle pour l'éclairage des locaux de travail et la possibilité de vue sur l'extérieur pour ceux qui y travaillent, tendent à procurer l'environnement le plus approprié à un bon équilibre physiologique et psychologique des individus, notamment en atténuant les effets néfastes que produit le confinement dans des locaux aveugles (lettre circulaire DRT n° 90-11 du 28 juin 1990).

Éclairage artificiel

Pour ce qui le concerne, les obligations du maître de l'ouvrage sont celles de l'employeur. (R 4213-1).

³¹ Les dispositions du maître de l'ouvrage s'appliquent aux travaux immobiliers dont le permis de construire est déposé depuis le 1^{er} janvier 1992.

³² La partie législative ne contient aucune disposition relative à l'éclairage.

À l'intention des deux, le Code du travail prévoit des niveaux d'éclairage, leur équilibre, la luminance, à égalité de vigilance pour garantir la préservation de la santé, de la sécurité et des conditions de travail adaptées au confort visuel.

S'agissant des « locaux et leurs dépendances », les niveaux d'éclairage prévu par le Code du travail par type de local (circulations intérieures, escaliers et entrepôts, locaux de travail, vestiaires et sanitaires, et locaux aveugles affectés à un usage permanent) sont des valeurs minimales (entre 40 et 200 lx). Elles visent la sécurité des personnes plus que leur confort au travail. Elles sont pour cette raison très en deçà des valeurs recommandées par diverses normes : le plus souvent entre 300 à 500 lx.

Pour le maintien durable d'un éclairage conforme à ses prescriptions, le Code du travail prévoit que le maître de l'ouvrage et l'employeur doivent tenir par écrit les modalités d'entretien et de maintenance des équipements de l'éclairage (R 4213-4 et R 4223-11). L'employeur doit en particulier veiller à un entretien périodique du matériel d'éclairage en vue d'assurer le respect des dispositions relatives aux :

- Valeurs minimales d'éclairage (article R 4223-4);
- Rapports d'éclairage (article R 4223-6);
- Rapports de luminance (article R 4223-8);
- Organes de commande de l'éclairage (article R 4223-10).

Normes techniques

Les normes de l'éclairage sont innombrables. Le besoin accentué par la technologie LED de recommandations normatives a fait leur nombre.

Normes internationales

Elles sont comme le souligne le site de l'ISO³³ (Organisation internationale de normalisation) « d'application volontaire ». Elles sont comparables chacune à « une formule qui décrirait la meilleure façon de faire »³⁴.

En cas de contentieux, les juridictions peuvent fonder leurs décisions sur ces normes.

On voit tout l'intérêt pour les fabricants et distributeurs des équipements d'éclairage d'appliquer « volontairement la meilleure façon de faire » spécifiée sujet par sujet de l'éclairage par les normes de l'ISO et de la CIE [Commission internationale de l'éclairage³⁵ que le Conseil de l'ISO a reconnu « comme organisme international à activité normative »].

La rupture technologique de l'éclairage créée par la LED a nécessité l'établissement de procédés très précis de conception et de fabrication de ses composants. L'objectif du cadre normatif de la LED est la garantie de son efficacité, de la durée de vie de ses ampoules et de l'absence d'effets défavorables pour le bien-être et la santé de ses utilisateurs.

³³ Ne cherchons pas dans ISO le sens d'un acronyme. ISO est le nom que s'est donné l'Organisation internationale de Normalisation par référence à l'origine grecque isos (égal) de son appellation pour éviter, sinon, la multiplication des acronymes issus des langues à travers le monde...

³⁴ Voir <https://www.iso.org/fr/standards.html>.

³⁵ Siégeant à Vienne en Autriche, la France y est représentée par l'Association française de l'éclairage (AFE).

L'architecture internationale de la production des normes de la LED mérite d'être connue. Mentionnées souvent par les fabricants et distributeurs des éclairages LED, on saura d'où elles viennent, ce qu'elles sont et leur portée sans avoir à connaître leur contenu.

Normes françaises

Produites par l'Afnor (Agence française de normalisation), elles sont aussi d'application volontaire sauf mention expresse contraire³⁶. Elles constituent comme celles de l'ISO et de la CIE des *modus operandi* destinés à « décrire la meilleure façon de faire » dans la conception et la fabrication des équipements d'éclairage.

Les normes Afnor qui ont le plus d'impact dans le domaine de l'éclairage sont les suivantes³⁷.

Caractéristiques des produits à LED :

- NF EN 12464-1 décrit les exigences d'éclairage pour les postes de travail intérieurs afin d'obtenir un bon confort visuel pour une personne dont la capacité ophtalmique est normale.
- [NF EN 62 504](#) (décembre 2014) – Éclairage général – Produits à diode électroluminescente et équipements associés – Termes et définitions, modifiée par [NF EN 62 504/A1](#) (mai 2018)
- Exigences de sécurité :
- [NF EN 61347-1](#) (septembre 2015) — Appareillages de lampes – Partie 1 : exigences générales et exigences de sécurité
- [NF EN 61347-2-13](#) (décembre 2014) — Appareillages de lampes – Partie 2-13 : exigences particulières pour les appareillages électroniques alimentés en courant continu ou alternatif pour les modules de LED, modifiée par [NF EN 61347-2-13/A1](#) (juin 2017)
- [NF EN IEC 62031](#) (mars 2020) — Modules à LED pour éclairage général – Spécifications de sécurité

Exigences de performance :

- [NF EN 62 717](#) (août 2017) — Modules de LED pour éclairage général — Exigences de performance Modifiée par [NF EN 62 717/A2](#) (avril 2019)
- NF EN IEC 62 384 (juillet 2020) Appareillages électroniques alimentés en courant continu ou alternatif pour modules de LED — Exigences de performance.



Des éclairages LED peuvent être proposés avec la mention « ENEC 08 ». Ce label — protégé en tant que marque — a été initié depuis une vingtaine d'années par le Syndicat de l'Éclairage, organisation professionnelle dont la certification ENEC est destinée à garantir la conformité des produits de l'éclairage aux exigences normatives de qualité et de sécurité prévues pour eux. La dernière version de cette certification, ENEC+, est adossée aux normes les plus récentes édictées notamment par la Commission internationale de l'éclairage citée plus haut. La mention ENEC ou ENEC+ est une garantie supplémentaire de qualité et de fiabilité des produits. L'absence de cette mention dans les documents de présentation des

³⁶ Aucune norme Afnor de l'éclairage n'a été déclarée d'application obligatoire.

³⁷ <https://normalisation.afnor.org/thematiques/luminaires-a-led/>

articles LED ne signifie pas pour autant qu'ils sont de mauvaise qualité si toutefois il est fait mention des normes AFNOR attachées à leur conception et/ou leur fabrication.

« Les meilleures façons de faire » énoncées par les normes constituent le socle technique et matériel sur la base duquel les équipements d'éclairage doivent, en particulier, assurer le confort visuel de leurs utilisateurs.



Glossaire et acronymes

AFE : association française de l'éclairage, représente la France au sein de la CEI.

Ampoule : tout objet d'éclairage, constitué d'une enveloppe, transparente ou translucide renfermant un corps lumineux. Les diodes des éclairages LED sont un composant des ampoules de ces éclairages.

Ballast : équipement technique destiné à créer un pic de tension pour allumer une ampoule et à maintenir ensuite une tension « lissée » pour que l'ampoule reste allumée. Pour les LED, la fonction du ballast est exercée par un « driver » qui constitue un composant d'un module LED d'une très grande importance.

B.I.M.O. : Bureau immobilier et maîtrise d'ouvrage

Candela (cd) : Unité de mesure d'intensité lumineuse (symbole cd) équivalant à l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement. S'agissant des ampoules électriques, leur donnée cd est comme celle des lumens (lm), une valeur intrinsèque d'une source lumineuse résultant de sa fabrication.

CEI : commission internationale de l'éclairage dont la part prépondérante de l'activité est consacrée à l'édition de normes à l'intention des concepteurs, fabricants et distributeurs d'équipement d'éclairage.

Cycle circadien : également désigné par les termes de rythme circadien, il s'agit d'un cycle chronobiologique observé sur une période d'une journée (« circus » autour et « dies » jour) qui est marqué par de nombreux effets sur la santé, notamment l'alternance (régulière ou non selon le respect du cycle) veille/sommeil.

DALI : *Digital Addressable Lighting Interface* est un protocole technique international que les fabricants d'éclairages notamment LED peuvent appliquer pour permettre le contrôle individuel de plusieurs ballasts (64 dans le DALI 1) ou de 16 groupes de ballasts d'un même système d'éclairage.

Diode : (*di* deux, double; *odos* voie, chemin) : tout conducteur qui ne laisse passer le courant que dans un seul sens. Les diodes électroluminescentes convertissent l'énergie électrique qui traverse leurs semi-conducteurs en un rayonnement monochromatique (ou « polychromatique non cohérent »). La diode électroluminescente de l'éclairage a conduit à l'emploi de l'acronyme DEL parfois utilisé, mais qui a été supplanté à l'échelle mondiale par celui de LED (light emitting diode).

Driver : un driver est un dispositif qui convertit le courant alternatif provenant du secteur en un courant continu d'une tension appropriée pour que les luminaires fonctionnent correctement. Ce dispositif régule l'alimentation d'une ou plusieurs LED. Le driver appelé aussi convertisseur alternatif/continu doit alimenter son récepteur en courant (et sa tension) le plus continu possible. Il est destiné à donner au courant électrique qui traverse les semi-conducteurs de la diode les caractéristiques nécessaires à son bon fonctionnement.

La fonction du driver impacte par conséquent très sensiblement la qualité de l'éclairage LED diffusé, et davantage encore le bon fonctionnement en continu de ses ampoules et leur durée de vie. Au moment du choix de luminaires LED, le descriptif du driver est à examiner avec beaucoup d'attention.

Éclairage : application de la lumière aux objets ou à leur entourage pour qu'ils puissent être vus; action, manière d'éclairer, de s'éclairer; ensemble des appareils qui distribuent une lumière artificielle. Manière dont la lumière est distribuée, répartie; quantité de lumière. Terme employé dans son sens large désigne autant l'éclairage naturel que l'éclairage artificiel.

Éclairage : exprimé en lux (lx) il mesure la part du flux lumineux (exprimé en lumen [lm]) reçu depuis toutes les directions par unité de surface (m²) : $\text{lux} = \text{lm}/\text{m}^2$. Il traduit en pratique la quantité de lumière souhaitée à l'endroit du besoin d'éclairage (symbole E).

Efficacité énergétique/lumineuse : rapport entre le flux lumineux (lm) produit par un éclairage artificiel et la puissance électrique (w) qu'il consomme (lm/w). Avec le déploiement des LED la mesure de l'efficacité énergétique de ses luminaires doit être considérée avec beaucoup d'attention.

ENEC : certification des performances initiales et d'essais d'endurance des produits de l'éclairage et de conformité aux normes prévues pour leur fabrication (ENEC+ pour la LED).

EEE : équipements électriques et électroniques, appellation utilisée notamment pour la conformité des produits d'éclairage à la directive européenne ROHS (restriction of hazardous substances) interdisant l'incorporation dans les produits EEE de matières polluantes et/ou dangereuses à plus de 0,1 % notamment plomb et mercure et à plus de 0,01 % pour le cadmium, et pour le traitement en filière écoresponsable des déchets EEE dits D3E.

Film solaire : protection thermique fixée par collage sur les vitrages, non destinés à la gradation de l'entrée de la lumière naturelle.

Flux lumineux : quantité de lumière mesurée en lumen (lm) émise par une source de lumière.

Indices de protection : IP et IK :

- **IP** : 2 chiffres, indique le degré de protection contre la pénétration de corps solides ou liquides, premier chiffre de 0 à 6 pour les corps solides, le second de 0 à 8 pour les liquides, exemple IP 40 corps solides de 1 à 2,4 mm et 0 projection d'eau ;
- **IK** : 2 chiffres, indique le niveau de protection contre les impacts mécaniques externes de 01 à 10, exemple IK 07 protection contre un impact de 2 joules équivalent à peu près à l'impact d'un objet de 3 kg distant de 30 cm.

IRC (voir également TM 30-20) : indice de rendu des couleurs d'un éclairage, recommandé à 19 pour les locaux d'activité tertiaire.

Kelvin (voir *Température de couleur de la lumière*)

Kruythof (diagramme de) : représentation avec les variations entre niveaux d'éclairement et température de couleur de la lumière, de la zone de confort visuel.

Lumen : voir flux lumineux.

Luminaire : ensemble d'un éclairage constitué par sa source lumineuse (ampoule), son appareillage de diffusion de la lumière (optique) et ses éléments matériels contenant les deux constituants précédents : un pavé plafonnier, un luminaire suspendu, ou un lampadaire.

Luminance : seule grandeur capable par sa mesure de quantifier la sensation visuelle de la luminosité d'un éclairage ; unité de mesure candela (cd)/m².

Lumière blanche : lumière spécifique de l'éclairage LED. Sa production repose sur deux technologies : méthode « RGB » (en français RVB) consistant à mélanger les trois couleurs primaires rouge/vert/bleu émises par les diodes, mais avec l'inconvénient d'une durée de vie différente des diodes R, V, B et d'une altération consécutive du blanc visible par l'œil humain. Pour contourner cet inconvénient, la seconde méthode utilisée pour les LED de l'éclairage consiste à exciter une couche de luminophore posée sur une diode émettant une lumière bleue : le mélange du bleu initial de la diode et du jaune issu de la

phosphorescence est visible en blanc, les améliorations continues du rendement des LED blanches cherchant à enrichir le spectre chromatique de la phosphorescence pour atteindre l'intensité du blanc de la méthode RVB sans son inconvénient.

Lumière bleue : représente le tiers de la lumière visible par l'œil humain (entre 380 et 500 nm du champ ondulatoire à l'origine de la lumière), émise en extérieur par la lumière naturelle du soleil et par l'éclairage LED lorsqu'il est nécessaire. Plus la couleur de la lumière de l'éclairage LED tend vers un blanc froid (à partir de 5 000 K) plus elle diffuse de lumière bleue.

Lux : unité de mesure de l'éclairement correspondant à 1 lm/m².

Module LED : il est constitué par la diode (LED elle-même) et son support technologique.

Optique : appareillage translucide ou transparent d'une source lumineuse pour adapter l'aire de diffusion de son flux lumineux à l'usage ou la destination d'une ampoule (ampoule LED aujourd'hui).

Rendement énergétique : voir efficacité énergétique/lumineuse.

RoHS : voir EEE.

Scintillement (flickering)/effet stroboscopique : effet de scintillement d'une lumière artificielle appelé aussi papillotement généré par la modulation temporelle de son flux lumineux elle-même provoquée par les modifications nécessaires des caractéristiques du courant électrique à l'entrée de la source lumineuse. Toutes les lumières d'origine électrique générant ce phénomène perceptible ou non ; les ballasts des lampes/tubes à décharge ont permis de maîtriser leur niveau de modulation temporelle pour en limiter le scintillement à un effet non perceptible. L'effet scintillement est généré par des modulations temporelles de fréquences inférieures à 80 Hz alors qu'au-dessus de cette fréquence les modulations temporelles de la lumière artificielle génèrent un effet stroboscopique en donnant l'impression qu'un objet en mouvement est immobile ou dans un mouvement plus lent que le mouvement réel.

Stores vénitiens : protections contre une forte intensité de la lumière naturelle fixées du côté intérieur ou extérieur des vitrages des façades, sous la forme d'une trame de lamelles horizontales et orientables.

Symboles photométriques de la lumière :

- Φ : lumen (lm) mesure du flux lumineux
- **E** : lux (lx) mesure de l'éclairement
- **L** : mesure de la luminance
- **I** : mesure de l'intensité lumineuse

Température de couleur de la lumière artificielle (voir également TM-30) : exprimée en kelvin (K) elle caractérise une dominante chromatique de la lumière entre un jaune de plus en plus orangé à partir de 3 000 K et en dessous, et blanc froid de plus en plus bleuté à partir de 5 000 K et au-dessus.

Températures de fonctionnement des éclairages LED :

- T_a (indiquée parfois T_q) : température d'ambiance du lieu dans lequel l'éclairage est situé, T_a indiquée pour un fonctionnement optimal dans des locaux entre 5 et 35 °C.
- T_c : température critique du luminaire à ne pas dépasser sous peine de dégrader ses composants.
- T_p : température de performance.

TM30-20 : échelle d'indices d'expression du rendu des couleurs en cours de déploiement depuis 2019 pour dépasser les limites de l'**IRC**, étant précisé que l'échelle IRC toujours considérée pertinente continue d'être couramment citée.

UGR : unité de mesure de la luminance d'un éclairage, recommandé à 19 au maximum (sur une échelle de 10 à 30) pour les activités tertiaires. Dans le cas d'une rénovation de l'ensemble de l'éclairage de locaux ou d'un site, les éclairagistes doivent dans leurs notes de calcul, indiquer l'UGR prévisible dans l'ensemble des locaux à partir de celui des luminaires indiqués par leurs fabricants.

