



## **DF – OFFICE DE BATIMENTS**

### **TECHNIQUES DU BATIMENT**

#### **Chapitre 07.5 – Éclairage**

### **CFC 233 - LUSTRERIE** **CAHIER DE NORMALISATION**

#### **Planification des installations**

Pour éviter l'utilisation d'une version caduques du présent document, nous vous invitons à vérifier si une nouvelle version est disponible sur le site : <http://outil.ge.ch/site/directivesoba/html/index.html>

Indice de mise à jour	Date de mise à jour	Qui (Nom, Prénom et entité)	Remarque et type de mise à jour (partielle N° de chapitre et N° de page ; totale)
V.0	12.09.2016	Eric BAUR, DF-OBA-DIE	Mise à jour totale
V.1	01.11.2017	Eric BAUR, DF-OBA-DIE	Mise à jour totale



## Table des matières

Pour éviter l'utilisation d'une version caduques du présent document, nous vous invitons à vérifier si une nouvelle version est disponible sur le site : <http://outil.ge.ch/site/directivesoba/html/index.html>

.....	1
BUT .....	5
OBJECTIF .....	5
INTRODUCTION .....	5
1. CFC 233.0 ECLAIRAGES INTERIEURS .....	6
1.1 ASPECTS CONCEPTUELS.....	6
1.2 PLANIFICATION .....	6
1.2.1 SECURITE ET BONNES PRATIQUES .....	6
1.2.2 COLLABORATION DES PARTICIPANTS .....	7
1.2.3 ETUDE LUMIERE.....	7
1.3 BATIMENTS NEUFS .....	7
1.3.1 LUMIERE NATURELLE.....	7
1.3.2 CONSOMMATION ENERGETIQUE .....	8
1.4 LES COMMANDES D'ECLAIRAGE.....	14
1.4.1 LA GESTION DES INSTALLATIONS PAR BUS DE TERRAIN .....	16
1.4.2 TOPOLOGIE .....	17
1.4.3 REGULATION DE L'ECLAIRAGE .....	18
1.5 OPTIMISATION DE FONCTIONNEMENT DANS LES BATIMENTS EXISTANTS.....	22
1.5.1 MESURES A PRENDRE EN CAS DE REMPLACEMENT DE L'ECLAIRAGE.....	24
1.5.2 RETROFIT TUBE FLUO-TUBE LED.....	25
1.6 TAXE ANTICIPEE DE RECYCLAGE (TAR) .....	26
1.6.2 LUMINAIRES.....	26
1.6.3 SOURCES LUMINEUSES .....	27
1.7 DEFINITIONS DES GRANDEURS LUMINEUSES ET FACTEURS DE CHOIX DE L'ECLAIRAGE.....	27
1.8 CHOIX DE LA LAMPE (SOURCE) .....	32
1.8.1 TYPOLOGIE DES SOURCES.....	32
1.9 CHOIX DU LUMINAIRE (APPAREIL) .....	33
1.9.1 PRESCRIPTIONS TECHNIQUES ET MECANQUES .....	34
1.9.2 CLASSES DE LUMINAIRES ET COURBES PHOTOMETRIQUES .....	35
Luminaire en applique « vasque opale » .....	36
Suspension directe/indirecte .....	37
Luminaire en applique « lumière douce ».....	38
Luminaire en applique « grille à miroir » .....	39
Luminaire encastré « cache opale».....	40

Plafonnier ouvert.....	41
Lampadaire indirect .....	42
Lampadaire direct/indirect.....	43
Applique indirecte .....	44
1.9.3 INDICE DE PROTECTION DES LUMINAIRES.....	45
1.9.4 LES CODES FLUX A SIX CHIFFRES.....	45
1.9.5 BALLASTS .....	46
1.9.6 LES LUMINAIRES LED .....	46
1.10 EXECUTION .....	49
1.10.1 PREUVES DE FONCTIONNEMENT.....	49
1.10.2 MAINTENANCE / COÛTS DE FONCTIONNEMENT.....	49
1.10.3 MODIFICATION DE LA SITUATION DE LUMIERE PENDANT LE SERVICE.....	49
2. CFC 233.1 ECLAIRAGES POUR PLACES DE TRAVAIL .....	50
2.1 ASPECTS CONCEPTUELS.....	50
2.2 NORME DE BASE SN EN 12464-1.....	52
2.2.1 ECLAIRAGE EN FONCTION DU LOCAL.....	53
2.2.2 ECLAIRAGE EN FONCTION DU POSTE DE TRAVAIL.....	53
2.2.3 ZONE DE CONFORT .....	55
2.2.4 FACTEUR DE PLANIFICATION .....	55
2.2.5 FACTEUR DE REFLEXION .....	56
2.2.6 UTILANCE .....	56
2.2.7 DEGRE D'EBLOUISSEMENT UGR .....	57
2.2.8 DIRECTION DE LA LUMIERE ET EFFET D'OMBRE .....	58
2.3 EFFETS BIOLOGIQUES DE LA LUMIERE .....	58
2.3.1 COURBES CHROMATIQUES.....	59
2.3.3 GROUPES DE RISQUES D'EXPOSITION A LA LUMIERE BLEUE.....	60
2.3.4 LE PARADOXE DE LA LUMIERE BLEUE.....	63
2.4 ECLAIRAGE POUR LES ECOLES .....	64
2.5 ECLAIRAGE DES SALLES DE SPORT.....	66
3. CFC 233.2 ECLAIRAGES SPECIAUX .....	68
3.1 LASERS .....	68
3.2 FIBRE OPTIQUE .....	68
3.3 LES LAMPES HID .....	68
3.4 LAMPES A VAPEURS DE SODIUM .....	68
3.5 AUTRES LAMPES SPECIALES .....	69
4. CFC 233.3 ECLAIRAGES EXTERIEURS.....	70
4.1 CRITERES D'ECLAIRAGE SUR LES LIEUX DE TRAVAIL.....	70
4.2 POLLUTION LUMINEUSE.....	71



5. DOCUMENTATION DU PROJET ET ATTESTATION SELON KBOB .....	74
GLOSSAIRE .....	75

## BUT

L'Office des Bâtiments de l'État de Genève (OBA) a souhaité la mise en place d'un cahier de normalisation pour le CFC 233 – LUSTERIE afin d'offrir une base commune de réflexion pour la **planification** des installations d'éclairage.

Ce document n'est pas une finalité en soit, mais souhaite induire à la réflexion globale de la technique et donner un cadre général, tous en permettant une latitude pour un projet dont le CFC 233 – LUSTERIE fait partie intégrante et peut apporter un plus autant économique, qu'architectural.

## OBJECTIF

Faciliter le processus de décision du planificateur lors de l'acquisition de l'ensemble du poste lustrerie, afin d'assurer la sécurité électrique de l'installation et des luminaires et garantir un éclairage adapté, confortable, efficient et sans risque pour la santé.

Entériner le fait que La LED est devenue la technologie de référence dans l'éclairage, présente dans la plupart des projets, et donner aux planificateurs les clés et les paramètres de choix et de bonnes pratiques.

## INTRODUCTION

L'être humain est adapté à la vie dans un monde empli de lumière. 80% des impressions sensorielles sont de nature optique et 25% du potentiel énergétique est utilisé pour la fonction visuelle. Et il ne s'agit pas que de la vision. La lumière du soleil active nombre de fonctions physiologiques essentielles comme la synchronisation de notre horloge interne, le rythme circadien. Un mauvais éclairage peut conduire à une fatigue visuelle et nerveuse, altérant la santé et la qualité du travail fourni. N'oublions pas que la lumière est visible.

Mais rien n'est tout blanc ou tout noir dans le domaine de la lumière. Certains types de lumières ont un potentiel de nocivité pour l'œil, la peau et le métabolisme. Le planificateur aura pour tâche d'optimiser « la bonne » lumière, tout en réduisant au maximum, par principe de précaution, ses effets délétères.

La question se pose avec une acuité particulière dans le cas de la lumière bleue, à la fois indispensable à notre bien-être et potentiellement toxique pour la préservation de l'œil. Nous verrons que des solutions existent pour sortir de ce dilemme de planification.

La normalisation en éclairage rassemble deux « filières » différentes : la filière électrotechnique et la filière éclairagisme.

La normalisation électrotechnique concerne les aspects liés aux performances et à la sécurité des produits ainsi qu'à l'installation électrique. Les normes d'éclairagisme portent sur les spécifications des projets d'éclairage en termes de confort, d'ergonomie et d'efficacité énergétique. Elles expriment un ensemble de valeurs photométriques à maintenir selon les activités des usagers et des locaux à éclairer et permettent d'aboutir à un éclairage de qualité.

# 1. CFC 233.0 ECLAIRAGES INTERIEURS

Le coût annuel de l'éclairage artificiel en Suisse s'élève grosso-modo à 3 milliards de francs. 40% de cette somme correspond à l'énergie électrique d'exploitation nécessaire, 24% à l'achat de nouveaux luminaires et 24% à l'étude et à leur installation. Le reste, soit 12%, représente l'achat des lampes et leur remplacement. C'est une facture conséquente qu'il est aisé et nécessaire de contribuer à maîtriser, voire réduire.

## 1.1 ASPECTS CONCEPTUELS

L'objectif de trouver des « solutions économiques, exemplaires sur le plan écologique et adaptées aux besoins », doit être abordé en commun par toutes les parties concernées dans le processus de planification. Une grande efficacité énergétique des installations d'éclairage est à rechercher dans tous les cas. La norme SIA 380/4 « l'énergie électrique dans le bâtiment » s'applique au plan de la restreinte énergétique et du calcul du bilan énergétique.

Les besoins et exigences en matière d'affectation et d'exploitation doivent être clarifiés assez tôt et avec soin afin de pouvoir sélectionner le poste lustrerie le plus en amont possible du projet. En général, la gestion de projets de construction est structurée d'après les phases et les demi-phases du modèle des prestations de la Société Suisse des Ingénieurs et Architectes SIA. Pour chaque phase/prestation partielle, il existe un descriptif des activités pertinentes ainsi que des outils d'aide nécessaires.

**Le modèle de prestations SIA est la structure utilisée par l'OBA, de la prise de décision initiale à la réception du projet.**

En principe, tous les locaux, même ceux rarement fréquentés, tous les postes de travail occupés en permanence, passagèrement ou occasionnellement et tous les passages doivent avoir un éclairage naturel et/ou artificiel adapté à leur utilisation.

La commande des installations d'éclairage doit être compréhensible pour les utilisateurs (standardisée, simple), facilement reprogrammable avec des protocoles ouverts et extensible. Les produits propres et les fabrications spéciales sont à éviter.

La planification des installations d'éclairage s'effectue selon la norme EN 12464-1 ainsi que les normes de l'Association suisse pour l'éclairage ([www.slg.ch](http://www.slg.ch)) et de l'Union Suisse de la Lumière.

Les pièces doivent être équipées de surfaces claires (degrés de réflexion favorables sur le plan énergétique). Les degrés de réflexion conseillés sont indiqués dans la norme EN 12464-1. La diversité des luminaires utilisés dans un même bâtiment doit rester aussi faible que possible.

## 1.2 PLANIFICATION

### 1.2.1 SECURITE ET BONNES PRATIQUES

**Les normes de sécurité électrique doivent être appliquées :**

- |                    |   |
|--------------------|---|
| • LIE (RS 734.0)   | - Loi sur les installations électriques                                       |
| • OIBT (RS 734.2)  | - Ordonnance sur les installations électriques à courant fort                 |
| • OMBT (RS 734.26) | - Ordonnance sur les matériels électriques à basse tension                    |
| • NIBT             | - Norme sur les installations à basse tension - Spécifiquement chapitre 5.5.9 |

Tous les luminaires doivent toujours être câblés par des lignes exemptes d'halogènes et résistantes à la chaleur selon les normes en vigueur. Ils doivent être équipés pour permettre les rangées de luminaires ou le câblage en transit, c'est-à-dire de bornes de raccordement fixes pour trois phases, conducteur neutre et conducteur de protection et, suivant le cas, avec câble de bus supplémentaire ou intégré.

## 1.2.2 COLLABORATION DES PARTICIPANTS

La planification de l'éclairage dans un bâtiment se déroule principalement en triangulation : le maître d'ouvrage (client), l'architecte et le concepteur d'éclairage (et planificateur électricien). Tous les participants sont responsables de l'efficacité de l'installation d'éclairage. Dans la pratique, le processus de planification d'éclairage se déroule souvent en plusieurs étapes. Cela a pour conséquence que le planificateur-électricien doit, à la fin du processus de conception, assurer un éclairage efficient. Une collaboration intense est nécessaire dès le début de projet, afin de produire une vraie étude lumière.

## 1.2.3 ETUDE LUMIERE

L'étude lumière est un sujet à part entière qui doit être traité correctement lors d'une rénovation ou une nouvelle construction. Elle permettra de proposer un éclairage conforme, répondant aux différentes priorités préalablement définies. Cette étude devra comprendre au minimum les éléments suivants :

- Fiches techniques des luminaires utilisés
- Implantations des luminaires au sein d'un local
- Données photométriques pour chaque type de local: Niveaux d'éclairement, uniformité, température de couleur, UGR.
- Description du système de gestion

Les éléments fournis dans l'étude lumière devront répondre aux critères du présent cahier de normalisation.

Les méthodes, les règles de calculs, les exigences, les contraintes et les besoins d'un système d'éclairage sont décrits dans ce cahier de normalisation.

## 1.3 BATIMENTS NEUFS

La planification de l'éclairage doit être comprise comme élément intégral d'un projet architectural global, de manière à obtenir un environnement visuel qui prend en compte les besoins et les activités des personnes, favorise leur bien-être et aborde l'architecture de sorte que l'effet lumineux souhaité, et donc l'effet spatial qui va de pair, puisse se déployer.

Les étapes de travail concernant la composition lumineuse et sa représentation doivent trouver leur place dans celles accordées aux analyses des besoins, de la valeur d'usage, de la rentabilité ainsi qu'à l'analyse énergétique comme élément de la prise de décision.

### 1.3.1 LUMIERE NATURELLE

L'architecture d'un bâtiment – donc sa forme et sa conception – a une influence déterminante sur la consommation d'énergie de l'éclairage. L'économie peut être particulièrement importante dans les bâtiments utilisés surtout pendant la journée. La lumière du jour ne réduit pas seulement la facture d'électricité ; elle améliore aussi le confort et donne un sentiment de bien-être. De plus, elle influence positivement la qualité de la lumière. L'utilisation de la lumière du jour se prépare, bien sûr, lors de la phase étude d'un bâtiment nouveau. Vu que la lumière du jour est soumise, de par sa nature à de très grandes variations de luminosité, des dispositions doivent être prises afin que l'éclairement dans les locaux et sur les plans de travail soit régulier et ne provoque pas d'éblouissement désagréable ni de contraste violent.

Actuellement, nous passons la plus grande partie de la journée dans des locaux intérieurs – par des éclairagements entre 50 et 500 lux. La lumière est une « horloge » naturelle de l'homme mais n'agit que lors d'une intensité relativement élevée sur le système circadien (environ 1'000 lux). Nous vivons donc malheureusement la plupart du temps dans une « obscurité chronobiologique ».

Des études toujours plus nombreuses attestent de la nocivité à long terme pour l'œil de cet état de fait.

Huit paramètres définissent l'utilisation de la lumière naturelle selon Minergie :

- La surface vitrée : plus elle est grande, plus l'apport de lumière naturelle est grand et moins il faut d'éclairage artificiel. La réduction de l'éclairage artificiel ne baisse plus quand le rapport surface vitrée/surface de plancher dépasse 35%. Une fenêtre standard a un taux de surface vitrée de 70%.
- Les lanterneaux permettent de mieux exploiter la lumière naturelle que les fenêtres normales, mais ils sont souvent équipés de protections contre le soleil (éblouissement, réchauffement).
- Une luminosité normale correspond aux valeurs par défaut des paramètres de réflexion des programmes de simulation ordinaires. Plafond = 70%, parois = 50%, sol = 20%. Les locaux clairs sont blancs – à l'exception du mobilier et des revêtements de sol. Les locaux sombres ont p. ex. un sol en béton apparent ou sont peints en couleur sombre (rouge, bleu, noir).
- Le taux de transmission d'un vitrage isolant est de l'ordre de 70%. Le taux de transmission d'un vitrage avec protection solaire (remplaçant p. ex. des stores) se situe entre 10% et 60%.
- Plus les linteaux de fenêtre sont hauts, moins la lumière naturelle pénètre dans les locaux. Cette hauteur joue moins de rôle avec des plafonds élevés (> 3,5 m) qu'avec des plafonds bas (<3 m).
- Une protection optimale contre le soleil (degré 1) retient le rayonnement solaire direct en n'affaiblissant que très peu l'apport de lumière naturelle (lamelles réglables, avec revêtement). Les stores en toile offrent une bonne protection contre le soleil, mais réduisent considérablement l'apport de la lumière naturelle (degré 3).
- Un balcon en saillie a le même effet qu'un linteau de fenêtre : il diminue la profondeur de pénétration de la lumière naturelle. Pour tenir compte d'un linteau ou d'un balcon, il faut introduire à chaque fois le paramètre le plus élevé dans le modèle de calcul.
- Les bâtiments voisins sont également une source d'ombres. L'angle d'ombres portées est déterminé par la distance entre les immeubles et la hauteur de l'immeuble voisin dominant l'emplacement de l'observateur. Exemple : distance entre immeubles = 10 m, dépassement de l'immeuble voisin = 6 m  
>> angle d'ombres portés = 30% >> réduction de l'apport de lumière naturelle = -20%.

### 1.3.2 CONSOMMATION ENERGETIQUE

#### A) LES EXIGENCES

**La norme SIA 380/4**, indique que « l'énergie électrique dans le bâtiment a pour but une utilisation rationnelle de l'électricité dans les bâtiments et les installations et souhaite, en tant qu'aide à la conception, contribuer à optimiser la consommation d'électricité des bâtiments neufs et rénovés. Elle définit les paramètres qui prévalent et établit une description standard des besoins en électricité ».

Les exigences présentées ci-après sont valables pour les constructions nouvelles, les transformations et les changements d'affectations de plus de 1'000 m<sup>2</sup> de surface de référence énergétique (AE).

#### **Catégories d'ouvrages selon SIA 380/1, AE > 1000 m<sup>2</sup>**

Les exigences (et donc l'obligation de justification) sont valables pour des constructions des catégories d'ouvrages III à XII (catégories d'ouvrages selon SIA 380/1). Une justification n'est pas nécessaire pour les immeubles résidentiels (individuels ou collectifs), ou pour des parties de ceux-ci, quelle que soit leur surface de référence énergétique.

#### **Surface de référence énergétique**

Le calcul de la surface de référence énergétique AE (SIA 416/1). En cas de transformations ou de changements d'affectation, la prise en compte de la surface de référence énergétique concernée est décisive.



Dans les cas d'extensions ou d'agrandissements, les surfaces de référence énergétique concernées doivent être prises en compte.

#### **Utilisateurs inconnus au moment du justificatif**

Si les « utilisateurs finaux » ne sont pas connus lors du projet, les exigences doivent aussi être prises en compte.

#### **Performance globale**

La performance globale fixe comme exigence le respect **des valeurs limites** de la demande annuelle spécifique en électricité pour l'éclairage [kWh/m<sup>2</sup>], SIA 380/4 (voir § 4).

Une justification par la méthode globale nécessite les documents suivants :

- le formulaire EN-12;
- les calculs en format papier;
- des réductions de plans, avec indications en couleurs des différents systèmes et concepts d'éclairage (lampes, concepts de commande). Sur les plans et sur les feuilles de calculs, le nombre de lampes et les systèmes de commande par pièce doivent être indiqués de façon compréhensible;
- l'identification claire des surfaces nettes;
- les feuilles avec les données de l'éclairage.

#### **Performance ponctuelle**

La performance ponctuelle se réfère **aux valeurs cibles** de la Norme SIA 380/4, pour le respect de la puissance spécifique  $p_{Li}$  en W/m<sup>2</sup>.

Une justification par la méthode ponctuelle, à l'aide de l'outil Lumi-Tool.xls, nécessite les documents suivants :

- le formulaire EN-12;
- les calculs en format papier;
- des réductions de plans, avec indications en couleurs des différents systèmes et concepts d'éclairage (lampes, concepts de commande). Sur les plans et sur les feuilles de calculs, le nombre de lampes par pièce doit être indiqué de façon compréhensible;
- l'identification claire des surfaces nettes;
- les feuilles avec les données de l'éclairage.

#### **Affectations des locaux**

Les utilisations type des locaux se basent sur le cahier technique SIA 2024.

#### **Affectations spéciales**

L'éclairage des locaux spéciaux doit être défini sur la base de la Norme SN EN 12464-1 (éclairage des lieux de travail).

Pour les affectations spéciales qui ne correspondent à aucune affectation standard de la norme, il y a lieu de les introduire sous "Affectations spéciales".

Comme il n'existe aucune valeur cible dans ce domaine, les valeurs ne sont donc pas prises en compte dans le calcul.

#### **Calcul des besoins en énergie et bilan énergétique**

Pour chaque luminaire dans les bâtiments, le besoin énergétique est calculé en tant que produit de la puissance installée et du nombre d'heures à pleine charge. Le bilan énergétique conforme à la norme SIA 380/4 (représentation standardisée des besoins en électricité) comprend les puissances, les heures à pleine charge et les valeurs des besoins énergétiques des différents groupes de locaux, classés par utilisation.

#### **Évaluation des besoins énergétiques**

Les valeurs calculées pour les besoins énergétiques des différents locaux selon leur utilisation (valeurs du projet) sont converties en valeurs spécifiques pour les surfaces et comparées aux exigences.

Ces exigences sont définies comme **valeurs limites** et **valeurs cibles** et sont indiquées non pas pour tout un bâtiment mais pour les différentes utilisations dans le bâtiment. À partir des valeurs d'exigence, les différentes utilisations sont pondérées selon les surfaces puis l'exigence sera estimée pour l'ensemble du bâtiment. Les valeurs d'exigence pour les utilisations sont également déterminées à partir de la taille de chaque local et des possibilités d'utilisation de la lumière du jour. Pour chaque utilisation standard, une valeur limite et une valeur cible sont calculées.

Attention, certaines conditions cadres diffèrent de bâtiment à bâtiment (p. ex. surfaces vitrées ou dimensions des locaux).

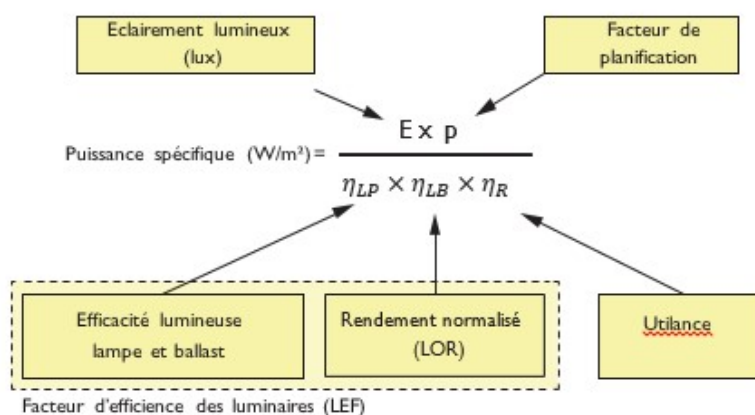
### Puissance installée

Valeurs cibles pour la performance ponctuelle par affectation.

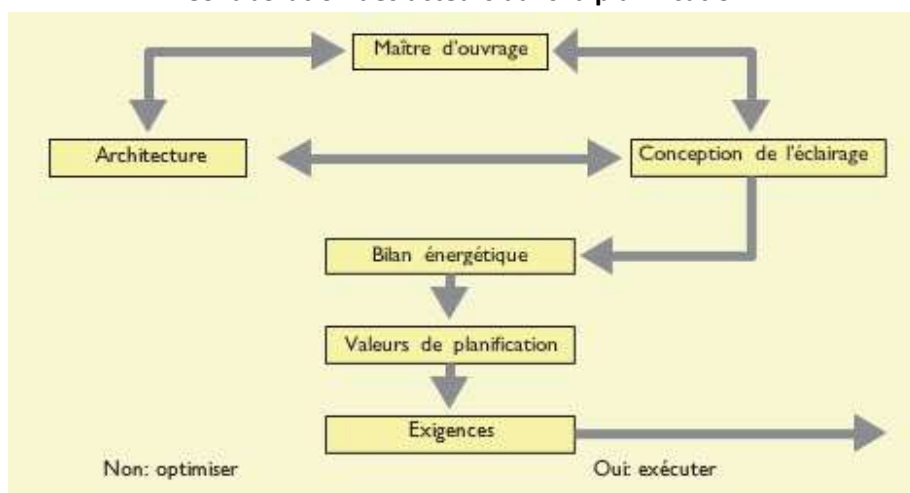
Le nombre d'heures à pleine charge tLi pour l'éclairage est à déterminer sur la base des heures d'utilisation, de la proportion d'éclairage diurne, de l'éclairement lumineux exigé et des conditions de l'utilisateur, respectivement la régulation.

Un outil de calcul peut être utilisé pour autant que l'algorithme de calcul et les valeurs limites de la norme SIA 380/4 soient respectés. La SIA en partenariat avec l'entreprise Relux propose l'outil ReluxEnergy CH. Cet outil permet le calcul de la valeur limite ainsi que la valeur du projet E'Li.

### Calcul de la puissance installée



### Collaboration des acteurs dans la planification



## B) BILAN ENERGETIQUE

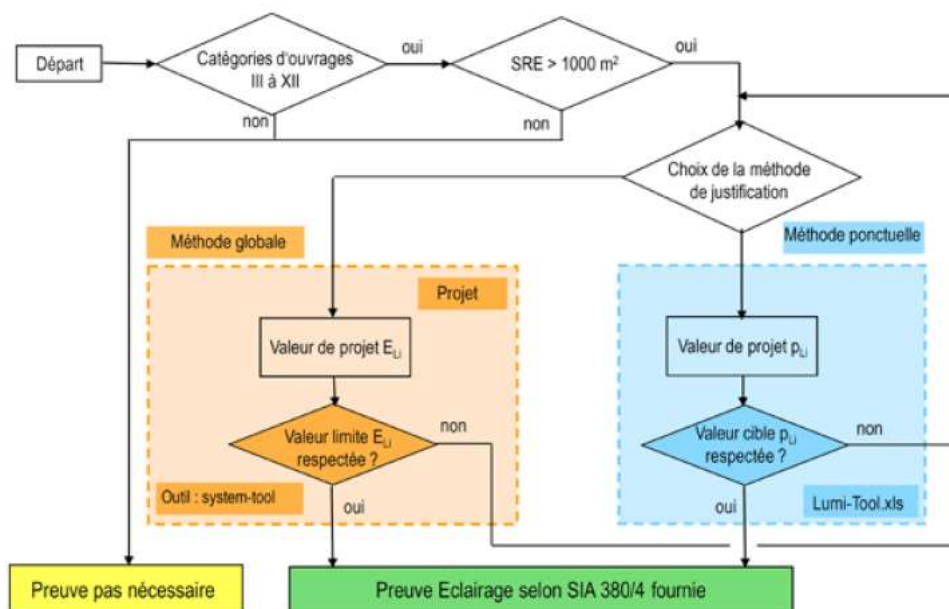
### Élaboration du bilan énergétique

Les valeurs calculées pour un local type sont comparées aux valeurs de références et un bilan énergétique avec le potentiel d'économie est élaboré.

- **Besoin énergétique spécifique** : multiplication de la puissance installée par le nombre d'heures à pleine charge.
- **Besoin énergétique** : multiplication du besoin énergétique par la surface totale du bâtiment.

- **Économie d'énergie** : différence entre la valeur limite et la valeur du projet, respectivement la valeur cible et la valeur du projet.
- **Économie de dépenses d'énergie** : économie d'énergie multipliée par le prix de l'énergie.

Pour tous les locaux types, il sera procédé de manière analogue. Ce qui permet d'obtenir le bilan global et l'économie d'énergie pour le bâtiment.



### Justification énergétique : méthode ponctuelle

(Valeurs indicatives, seule la norme fait foi)

No	Affectations	Exigences ponctuelles $p_{li}$ in [W/m <sup>2</sup> ]
2.2	Réception, zone d'accueil	3,0
3.1	Bureau individuel, collectif	11,5
3.2	Bureau paysagé	9,0
3.3	Salle de réunion	11,5
3.4	Hall des guichets, zone clientèle	5,5
4.1	Salle d'écoles	10,0
4.2	Salle des maîtres	8,0
4.3	Bibliothèque	4,5
4.4	Auditoire	9,0
4.5	Locaux spéciaux	10,0
5.2	Magasin d'alimentation	12,5
6.2	Restaurant self-service	4,0
6.4	Cuisine de restaurant self-service	9,0
7.1	Salle de spectacle	7,5
7.2	Salle omnisports	7,5
7.3	Halle d'exposition	7,5
8.1	Chambre d'hôpital	3,0
8.2	Bureau de service hospitalier	10,0
8.3	Locaux médicaux	11,5
9.1	Production (travail lourd)	7,5
9.2	Production (travail fin)	10,5
10.1	Entrepôt	8,0
11.1	Salle de gymnastique	7,5
11.3	Piscine couverte	8,0
12.1	Surface de dégagement	4,5
12.2	Locaux annexes	4,0

### C) STANDARD MINERGIE

Minergie se définit lui-même comme un standard de construction qui permet une utilisation rationnelle de l'énergie et une mise en œuvre plus large des énergies renouvelables tout en assurant une amélioration de la qualité de vie, une meilleure compétitivité et une diminution des atteintes à l'environnement.

Pour la sélection standard, on utilisera de préférence des luminaires répondant à la norme Minergie P.

#### Éclairage Minergie

Le standard d'efficacité Minergie permet de certifier les éclairages depuis 2001. Son obtention nécessite le respect des critères suivants :

- un aménagement lumineux de l'espace,
- des lampes appartenant aux classes d'efficacité européennes comprises entre «A» et «A++»,
- des luminaires équipés de ballasts électroniques,
- des réflecteurs de luminaire optimaux présentant une part importante de lumière directe,
- une commande de la lumière du jour (dans les locaux ouverts à celle-ci).

L'exigence pour l'éclairage Minergie se situe entre la valeur limite et la valeur cible et est calculée selon la formule suivante:

$$\text{Minergie} = \text{valeur cible} + (\text{valeur limite} - \text{valeur cible}) / 4.$$

Pour l'OBA, l'exigence est d'atteindre la valeur cible.



Le document Calcul de l'éclairage Minergie, Manuel de référence Version 2006, 25.9.6 donne les indications nécessaires pour remplir les tableaux :

- Tableau 1 : Locaux types
- Tableau 2 : Utilisation de la lumière naturelle et gestion de la lumière
- Tableau 3 : Luminaires et performances (avant-projet)
- Tableau 4 : Bilan de l'éclairage (avant-projet)
- Tableau 5 : Saisie des luminaires (projet)
- Tableau 6 : Liste des locaux
- Tableau 7 : Bilan de l'éclairage (projet)
- Tableau « Minergie Eco » et les exigences qui s'y réfèrent.

Plusieurs autres standards « verts » sont en vigueur non seulement pour les ensembles de bâtiments, mais aussi pour l'éclairage intérieur.

L'efficacité de l'éclairage d'un bâtiment peut être également justifiée par les programmes «Green Building» (<http://iet.jrc.ec.europa.eu>) et «GreenLight-Partner».

## D) SIMULATIONS D'ECLAIRAGE

### Logiciel de calcul ReluxEnergy CH et justificatif énergétique

Un éclairage Minergie ne peut pas être calculé à la main, c'est pourquoi un logiciel de calcul est utilisé. Le justificatif peut être obtenu avec l'outil informatique Relux en cinq étapes:

- 1ère étape : données sur le bâtiment. Personnes responsables du projet, surface, nouvelle construction ou rénovation, état du projet, niveau d'exigence (valeur limite SIA, valeur cible SIA, Minergie),
- 2e étape : définition des locaux types. Dimensions du local, classification suivant l'utilisation standard, définition des utilisations spéciales, utilisation de la lumière du jour, régulation de la lumière,
- 3e étape : relevé des luminaires utilisés. Listage de tous les luminaires et entrée des valeurs caractéristiques spécifiques,
- 4e étape: Comptabilisation des locaux. Enregistrement de tous les locaux dans le bâtiment, classement selon les locaux types, ajout des luminaires définis,
- 5e étape: justificatif énergétique. Création automatique du bilan énergétique et comparaison avec les exigences. L'outil de justification «ReluxEnergy CH» offre la possibilité de combiner les tâches avec le logiciel de planification «ReluxSuite». Les locaux qui ont été simulés et conçus dans ReluxSuite peuvent être directement importés dans le justificatif Minergie et être modifiés en cas d'ajustements ultérieurs.

On pourra aussi consulter **Energytools**, un site internet de la Société suisse des Ingénieurs et des Architectes SIA qui a pour but d'améliorer et assurer la qualité des normes et des services du bâtiment dans le domaine de l'énergie. Il propose divers outils aptes à épauler les concepteurs et les architectes pour dimensionner les installations techniques et l'éclairage du bâtiment, de même que des aides pour calculer les besoins en énergie, la rentabilité des investissements, etc. Les outils de planification font toujours l'objet d'une brève description et peuvent être téléchargés directement sur Energytools.

## 1.4 LES COMMANDES D'ÉCLAIRAGE

### A) LES COMMANDES PAR ZONES

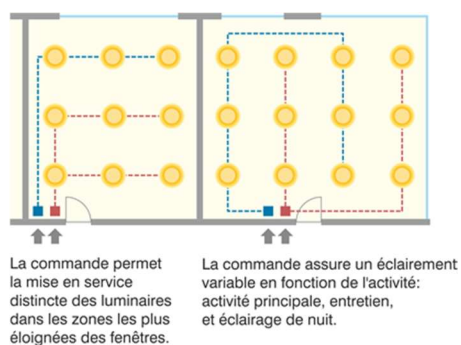
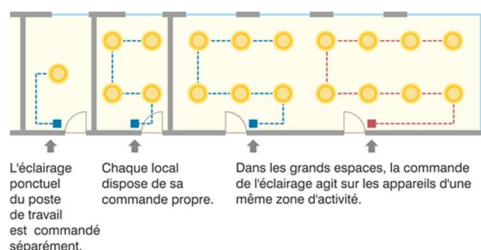
Le zonage consiste à répartir la distribution électrique et à regrouper les commandes en tenant compte :

- de l'existence de l'éclairage individuel qui peut retarder l'allumage de l'éclairage général,
- des zones de même activité ou même période d'occupation,
- de l'éclairage naturel du local : les luminaires situés vers le mur sont commandés séparément des luminaires situés vers les vitrages qui seront enclenchés en complément de l'éclairage naturel, ou alors une commande commune si un système de gestion permet d'ajuster la puissance des luminaires en fonction de leur position dans le local,
- des activités secondaires : pour les tâches ayant lieu en dehors des heures normales (nettoyage, rondes de sécurité, etc.) un éclairage réduit est souvent suffisant.

La mise en œuvre de ces commandes dans une installation existante nécessite un recâblage de l'installation avec intégration d'interrupteurs et contacteurs complémentaires.

La mise en œuvre du zonage dans les bâtiments de plus grande taille passera par un système à connexion rapide, ce qui sera sans influence sur les caractéristiques de l'éclairage.

Le zonage par adressage, le plus courant désormais dans les plus grands bâtiments, apportera de la flexibilité par rapport au potentiel de changement de configuration des locaux.



### B) LA GESTION ET LES COMMANDES MANUELLES

#### Les interrupteurs

Les interrupteurs sont les commandes les plus simples dans une gestion d'occupation. Ils restent en l'état éteint ou allumé tant qu'ils ne sont pas actionnés par l'utilisateur. Le changement d'état nécessite une intervention physique. Différentes études ont montré que la responsabilisation de l'occupant est plus liée à l'allumage des luminaires qu'à l'extinction. Ces commandes sont à déconseiller dans le cadre d'une gestion économique des consommations d'éclairage dans la mesure où elles ne reposent que sur une démarche volontaire et systématique.

### **Les boutons poussoir**

Contrairement aux interrupteurs, ils n'ont qu'un seul état au repos et peuvent par une simple impulsion changer l'état d'un équipement intermédiaire de commande comme les relais, l'entrée digitale des automates. Cela leur permet de pouvoir être couplés avec une détection de présence automatique.

L'idée est de combiner : un allumage volontaire et une extinction manuelle ou automatique du même éclairage par détection d'absence lors que les occupants quittent le local.

### **Les gradateurs ou « dimmers »**

Ils permettent de contrôler le flux lumineux et d'adapter le niveau d'éclairement du luminaire en fonction du niveau réel de lux dans le local, qu'il s'agisse de tenir compte d'un apport en éclairage naturel ou de réduire l'éclairement pour une présentation multimédia par exemple.

## **C) LA GESTION EN FONCTION D'UN HORAIRE**

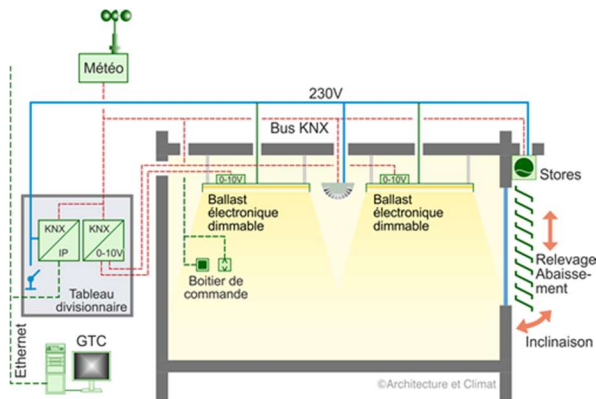
Il existe une grande variété d'horloges, allant du simple interrupteur électromagnétique multi positions jusqu'à l'interrupteur à cristaux liquides. Les commandes transmises aux luminaires peuvent aussi provenir de systèmes de gestion centralisée.

- Il est souvent préférable de ne commander que l'extinction des luminaires, laissant aux utilisateurs la liberté d'allumage.
- Il est important d'inclure des commandes locales de dérogation de façon à pouvoir rétablir l'éclairage si les utilisateurs en ont besoin.
- La possibilité de dérogation ne peut empêcher un retour au mode automatique, soit en répétant la commande d'extinction à intervalle régulier après l'arrêt normal des activités, soit en commandant un retour au mode automatique après un temps défini (ex : 1 h après la pression sur l'interrupteur).
- L'extinction automatique ne peut plonger les occupants dans l'obscurité complète. Un éclairage minimum doit être maintenu pour leur permettre de retrouver leur chemin et le bouton poussoir de dérogation. Par exemple, la commande d'extinction peut comporter deux paliers : une extinction de la moitié des luminaires pour avertir de l'extinction complète future et après un certain temps réglable, l'extinction complète.
- Les horaires d'extinction peuvent également comprendre la période de midi si elle est significative d'un arrêt général des activités.
- Les horaires d'extinction tiendront bien sûr compte des périodes où les bâtiments sont censés être vides : soir, week end, vacances, etc.

En conclusion, pour l'OBA, l'éclairage doit être commandé en fonction des mouvements et de la lumière du jour. Pour que l'adhésion de l'utilisateur soit totale, celui-ci doit toujours avoir la possibilité d'intervenir manuellement sur la commande. L'association avec la fonction semi-automatique, qui coupe automatiquement mais permet toujours l'allumage manuel, constitue le meilleur rapport coût-bénéfice dans les circonstances habituelles et garantit la plus forte adhésion de l'utilisateur.

Lors de l'installation et de la mise en service de la commande de l'éclairage, le contrôle du fonctionnement programmé de la commande ainsi que la vérification du réglage correct des valeurs de luminosité et des temps de poursuite paramétrés sont indispensables.

## D) LA GESTION CENTRALISEE DE L'ECLAIRAGE



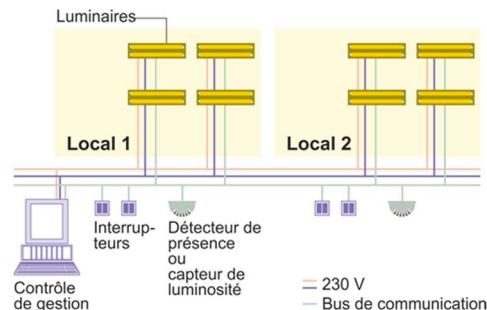
### 1.4.1 LA GESTION DES INSTALLATIONS PAR BUS DE TERRAIN

L'objectif d'une telle installation est double:

**Flexibilité:** dans les nouveaux bâtiments, les extensions et modifications dans l'utilisation des réseaux entraînent de fréquents recâblages.

**Gestion énergétique:** les occupants des bâtiments n'ont pas pour vocation d'être impliqués dans la gestion des installations techniques. Ce n'est d'ailleurs pas leur mission. Il faut donc créer la fonction automatique, tout en ne perturbant pas le confort des occupants.

Une installation électrique traditionnelle montre ses limites par rapport à ces deux objectifs, principalement en ce qui concerne la flexibilité. De ce fait, un retour à une gestion traditionnelle après le déploiement d'un bus de terrain, même pour de nouvelles zones, n'est pas envisageable pour l'OBA.



Ce qui différencie une installation électrique pilotée par un réseau de communication d'une installation «traditionnelle» est la séparation entre les circuits de puissance et les circuits de commande. Dans une installation traditionnelle, les organes de commande font partie intégrante du circuit de distribution. Dans une installation avec réseau de communication, on distingue deux réseaux physiquement séparés :

- la distribution d'énergie aux équipements, c'est le circuit de puissance,
- le pilotage et la commande des équipements, c'est le circuit de commande.

Le circuit de commande est réalisé à partir d'un câble intégré par exemple dans un câble plat, coaxial, ondes radios, appelé «bus» ou «bus de terrain».

Ce support de communication permet à tous les produits connectés (équipements, capteurs, actionneurs) d'échanger des informations suivant un «protocole de communication».

L'OBA privilégie un câblage filaire.

Dans une version avec câblage filaire, l'ensemble des participants au réseau sont connectés en parallèle aux deux mêmes conducteurs du bus, ce qui limite et simplifie le câblage.



Le protocole de communication permet aux participants du réseau de communiquer entre eux. C'est ainsi que chaque produit, capteur ou actionneur relié au réseau possède suffisamment d'intelligence pour détecter seul un changement d'état et transmettre, en fonction de son programme, le message adéquat.

Dans un tel système, les capteurs sont des donneurs d'ordre (boutons poussoirs, interrupteurs, régulateurs, sondes...). Les actionneurs représentent les sorties du système qui font office d'interfaces de puissance pour piloter les équipements terminaux.

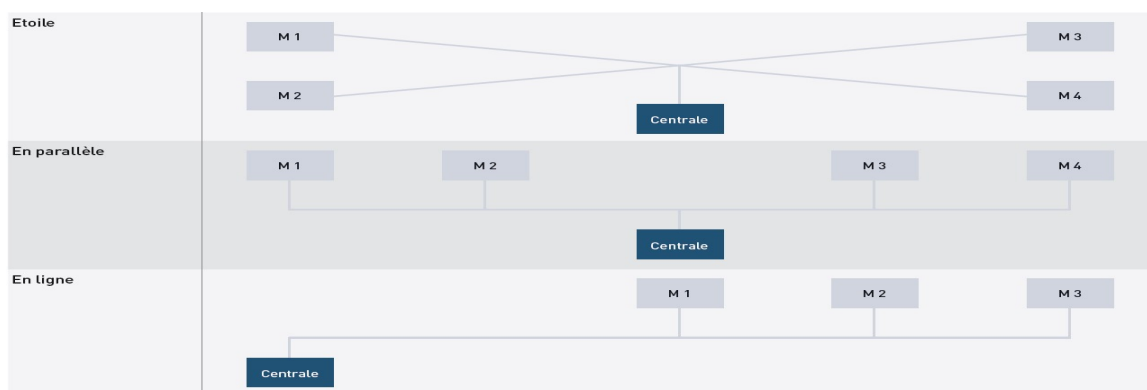
## 1.4.2 TOPOLOGIE

### Topologie physique

Les projets de construction sont subdivisés en sites, bâtiments, étages et locaux. La structure physique d'un système de bus devrait être réalisée à cette image. Plus c

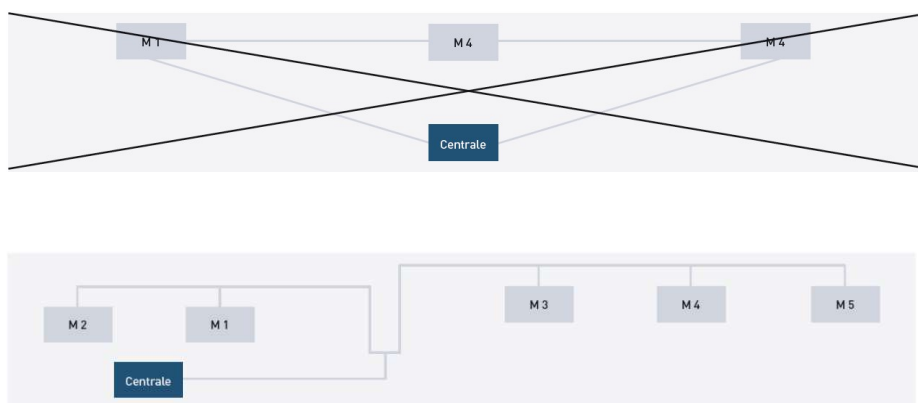
es deux arborescences sont semblables, plus la conception et la programmation seront simples et claires.

- La liaison de commande à 2 fils est isolée galvaniquement et à polarisation réversible.
- Les câbles peuvent être posés dans les topologies suivantes, à savoir les structures en étoile, linéaires ou en arbre (pas de liaisons annulaires).
- La longueur de câble entre deux composants système est limitée à 300 m maximum (en fonction de la section conduite).
- Aucune résistance terminale n'est nécessaire à l'extrémité d'un câble.



Le câblage Bus à 2 fils peut être effectué librement selon les exemples suivants:

Nous conseillons une subdivision du câblage Bus en lignes montantes et en lignes de raccordements.



Attention: Un câblage par Bus en boucle n'est pas autorisé.

### 1.4.3 REGULATION DE L'ECLAIRAGE

On distingue divers modes de régulation en matière d'éclairage:

- commande manuelle
- déclenchement par minuterie
- commutation en fonction de la lumière naturelle
- déclenchement en fonction de la lumière naturelle, enclenchement manuel
- régulation constante de l'éclairage (variateur)
- détection de présence ou de mouvement.

#### A) DETECTEUR DE MOUVEMENT ET DE PRESENCE

Un détecteur de présence se différencie d'un détecteur de mouvement par sa plus grande sensibilité.

Les détecteurs ont une consommation propre de 0.3 à 3 kWh par année environ. Ils ne devraient pas consommer plus de 1W par appareil en stand-by.

Dans le cas de la régulation constante par variateur, la perte d'énergie en stand-by pose problème dans la mesure où elle peut être supérieure à l'énergie économisée par la régulation constante. Si le stand-by consomme plus de 1W par luminaire, il faudrait proposer une nouvelle démarche.

#### *DETECTEURS A INFRAROUGE (PIR)*

Ils détectent le mouvement du corps humain par la mesure du rayonnement infrarouge émis par le corps humain. Ils sont dits « passifs » car ils n'émettent aucune radiation. Ils mesurent le rayonnement infrarouge émis par les surfaces chaudes.

Les détecteurs à infrarouge comportent un certain nombre de facettes sensibles. Leur rayon d'action est ainsi découpé en une série de segments. La sensibilité d'un détecteur dépend donc du nombre de segments sensibles.

#### *DETECTEURS RADAR*

Les détecteurs radar peuvent enregistrer les mouvements de manière plus précise que les PIR et ne réagissent pas aux sources de chaleur immobiles comme les imprimantes laser.

#### **Principe de fonctionnement**

Les ondes radar sont des ondes électromagnétiques émises par un émetteur radio. La fonction de l'émetteur et du récepteur est à peu près comparable à celle d'une balance.

Les ondes émises par l'émetteur sont facilement dirigées par une antenne à cornet directionnelle et sont réfléchies à travers le sol, les parois et autres surfaces sur le récepteur. En l'absence de mouvement dans la zone réglable surveillée, la fréquence de l'émetteur et celle du récepteur sont identiques – il n'y a pas de détection.

Les personnes ou objets par contre déclenchent une détection lorsqu'ils se déplacent – la fréquence émise et reçue n'est plus en équilibre. Une seule condition est nécessaire à la reconnaissance d'objets: la vitesse minimale de mouvement doit être d'au moins 10 cm/s.

#### **Réflexion/Transmission**

Les ondes sont réfléchies totalement par des métaux (effet miroir), absorbées par l'eau et l'oxygène et traversent sans entrave de nombreuses matières plastiques et le verre. Il est conseillé d'en prendre bonne note pour les cloisons vitrées.

#### **Exposition aux rayons**

La puissance des ondes utilisées est sans danger pour les humains et animaux.

### Les facteurs d'influence perturbateurs

Attention aux influences perturbatrices comme la pluie, la neige, les lampes fluorescentes, les vibrations de base des entraînements de porte, etc., qui viennent s'ajouter de plus en plus aux interférences parasites dues à des téléphones portables, la radio, etc. (« électro-smog »).

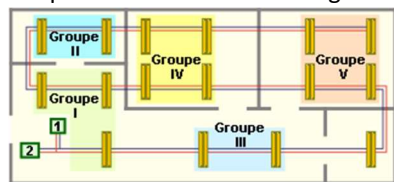
## B) LA TECHNOLOGIE DALI

DALI, acronyme de Digital Addressable Lighting Interface, est un protocole ouvert standardisé IEC 60929 et IEC 62386 qui permet de gérer une installation d'éclairage par l'intermédiaire d'un bus à deux fils. Il est le successeur du 0-10V pour la variation de l'intensité lumineuse. C'est le protocole réseau le plus répandu dans l'éclairagisme en Europe. DALI possède une structure très simple et la communication passe directement entre les capteurs, les interrupteurs et les ballasts électroniques. Chaque dispositif de fonctionnement équipé de l'interface DALI peut être commandé individuellement via des adresses abrégées DALI. Grâce à un échange de données bidirectionnel, un dispositif de commande DALI (DALI-Gateway) peut appeler le statut de lampes ou de dispositifs de fonctionnement d'un luminaire et respectivement en définir l'état.

Maximum 64 appareils DALI dans un groupe

Jusqu'à 16 groupes

Jusqu'à 16 scénarios d'éclairage



Pour l'OBA, toujours prévoir une réserve appropriée pour une extension ou complément prévisible.

## C) LA COUCHE DOMOTIQUE OU IMMOTIQUE

Les commandes et la gestion de l'éclairage sont de plus en plus associées avec la domotique dans le cadre de la gestion technique du bâtiment. Il faudra veiller à la compatibilité de l'ensemble des lampes, luminaires et appareils électroniques associés, et ce dès l'avant-projet, afin de garantir la simplicité la plus grande possible dans un domaine où la mise en œuvre est relativement technique.

La domotique vise à apporter des fonctions de confort (gestion d'énergie, optimisation de l'éclairage et du chauffage), de sécurité (alarme) et de communication (commandes à distance, signaux visuels ou sonores, etc.). La domotique est également très proche de la gestion technique du bâtiment (GTB) et de la gestion technique centralisée (GTC).

## D) LE PROTOCOLE KNX

Le bus KNX (Konnex) est aussi un bus dit «de terrain». C'est un standard ouvert (ISO/IEC 14543-3) né de la fusion de trois spécifications de protocoles EIB, EHS et Bâtibus. Ce protocole est décentralisé, les capteurs communiquent directement aux actionneurs qu'ils doivent régir.

### ADRESSES PHYSIQUES

De façon purement théorique, les adresses physiques de chaque participant bus pourraient être attribuées sur chaque ligne sans tenir compte d'une structure. Pour des raisons de clarté et pour une bonne vue d'ensemble, KNX Swiss recommande toutefois d'opter pour une structure en adéquation avec le projet, lors de l'attribution des adresses.

### *SCHEMA DE PRINCIPE POUR LA DOCUMENTATION*

Pour les grands biens immobiliers en particulier, il est nécessaire de dresser, dès le début du projet, un schéma de principe pour la répartition et la structuration de l'installation (topologie, zones et lignes). Cela permet de planifier de manière optimale la topologie d'une installation KNX et la structure logique est construite très rapidement. Le schéma sera utile ultérieurement, lors de la mise en service ou en cas d'intervention de maintenance dans l'immeuble, pour acquérir rapidement des informations. C'est la raison pour laquelle le schéma de principe fait toujours partie de la documentation qui sera remise au maître d'ouvrage en fin de projet.

### *NOMBRE D'APPAREILS*

Une zone et une ligne (segment de ligne) peuvent théoriquement regrouper 64 participants au total. Il en résulte la taille de l'alimentation qui se calcule généralement avec 640mA. Lors de la planification, il faudrait cependant prévoir une certaine réserve par ligne. Dans la planification de base, le taux d'utilisation de la ligne doit s'élever à 60% dans le cas des bâtiments de l'OBA.

### *FONCTIONNALITES DE KNX*

Gestion en fonction de la détection de mouvements: dans les zones de passages, les locaux annexes, à l'extérieur.

Gestion des scénarios: plusieurs groupes d'éclairage commutés ou dimmés peuvent être amenés dans une position prédéfinie par simple appui sur un bouton.

Réglage de l'éclairage de la salle en fonction de la luminosité.

Réglage en fonction de l'horaire.

Utilisation de la lumière du jour.

Commande centralisée de salles ou pièces séparées, d'étages, voire de bâtiments.

Télécommande locale pour commande individuelle ou rappel de scénarios

Télécommande locale combinée avec des installations médias, tels que TV, vidéo...

Commande centralisée de locaux individuels.

Réglages de couleurs avec LED pour effets spéciaux, tel le blanc dynamique.

Les planificateurs non encore initiés ont intérêt à consulter les « **Directives projets KNX Swiss** » qui sont destinées à soutenir les partenaires KNX en Suisse dans la réalisation d'installations KNX correctes et structurées. Elles complètent le « Guide projets KNX Swiss », qui est axé sur le bon déroulement d'un projet, de la définition des besoins jusqu'à la livraison clé en main.

### *AVANTAGES DE KNX*

Un standard mondial

Produit par plus de 250 fabricants

Toujours compatible

Un système de bus à haute efficacité énergétique

Réduit l'effet des champs électriques et électromagnétiques

Une technologie éprouvée depuis plus de 20 ans

Adapté aux constructions neuves et aux rénovations

### *INCONVENIENTS DE KNX*

Les déploiements des bus de terrain actuels continuent à exploiter des réseaux parallèles qui ne collaborent pas. La nécessité d'une technologie réseau commune qui puisse travailler au-dessus de n'importe quelle couche physique, comme IP, est à considérer dès à présent, notamment avec IPv6. Sa mise en œuvre se fait avec un protocole de routage standard permettant de former un réseau IP maillé unique au-dessus de multiples couches physiques.

Le standard est ouvert mais la configuration d'un réseau se fait avec le logiciel propriétaire dédié ETS conçu par l'association KNX. D'autres logiciels existent, mais ont une visibilité très faible. L'intégration est onéreuse.

La mise en œuvre est relativement complexe et les possibilités du protocole dépendent fortement des micro-logiciels des équipements.

L'évolutivité d'une installation de ce type est très faible, à moins d'avoir conservé toute la configuration mise en place.

## E) AUTRES PROTOCOLES FILAIRES

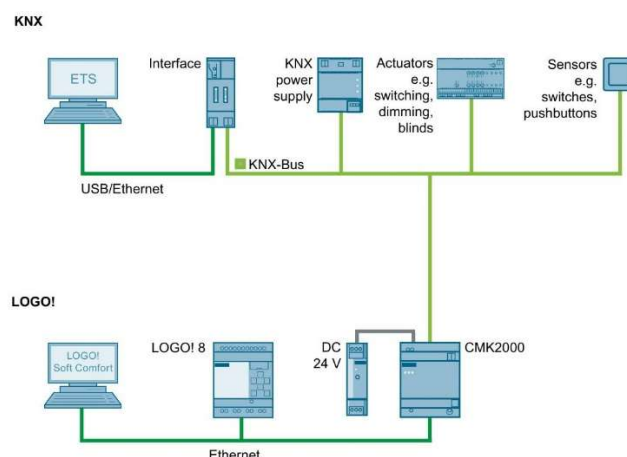
### LOGO automate programmable avec module spécial KNX

Cet automate programmable développé par Siemens est un best seller mondial depuis plus de 15 ans, il vaut la peine de s'y pencher lorsqu'on envisage une automatisation plus poussée des fonctions d'éclairage dans un bâtiment donné.

La dernière gamme de modules logiques Logo! 8 s'intègre désormais aux installations KNX via le module de communication Logo! CMK2000. Ce module Logo! KNX CMK2000 communique avec le module Logo! 8 via Ethernet. Les données collectées par les capteur KNX sont ainsi transmises au module qui les combine à des fonctions logiques. Les instructions de commande de Logo! sont ensuite transmises aux actionneurs KNX. 50 objets de communication KNX peuvent être configurés et associés à nombre de périphériques comme des compteurs et des paramètres dans le programme Logo! pour réaliser des tâches d'automatisation. A noter la possibilité de synchronisation de la date et de l'heure des capteurs et des actionneurs raccordés au bus.

Le logiciel associé à cet automate Logo!, appelé Soft Comfort, a l'avantage de pouvoir effectuer des simulations, des tests en ligne et également de documenter et stocker les données dans la mémoire interne ou sur la carte SD standard.

Ci-dessous un exemple d'association de l'automate Logo! et du bus de terrain KNX.



**LonWorks** est un réseau de bâtiment au niveau terrain historiquement créé par l'entreprise californienne Echelon, qui fournit maintenant le matériel de base (puces avec le protocole LonTalk embarqué).

Ce réseau utilise comme protocole LonTalk, standardisé ANSI/CEA-709.1-B, et de libre utilisation. Il est très utilisé comme bus de terrain pour commander des équipements CVC (chauffage, ventilation, climatisation), ainsi que pour la commande de l'éclairage.

De la même manière que KNX, LonWorks est un réseau du type décentralisé. Cela lui permet de communiquer à très longue distance avec une vitesse de 78 kb/s. La vitesse dépend de la couche physique utilisée, parmi lesquelles se trouvent : paire torsadée, courant porteur, fibre optique et ondes radio.

LonWorks a plusieurs avantages, mais l'un des plus importants est l'interopérabilité. L'utilisation de SNVT (Standard Network Variable Type), variables de réseau standardisées, pour la communication entre nœuds, oblige les intégrateurs à réaliser des configurations propres. De plus, les fabricants sont fortement incités à créer leurs nouveaux produits en respectant l'utilisation des SNVT, ce qui assure une compatibilité maximale entre les marques.

**BACnet** (Building Automation and Control networks) est un protocole de communication spécifié par l'ASHRAE et est un standard ISO et ANSI. Il s'agit d'un protocole de couche réseau pouvant être utilisé au-dessus de plusieurs technologies de couches liaison et physique, telles que LonTalk, UDP/IP...

BACnet intègre également la couche application grâce à un ensemble d'objets dédiés. Ces objets représentent les informations gérées et échangées par les appareils. Son approche objet au plus proche des couches applicatives en fait un bon candidat comme protocole de haut niveau dans une installation GTB ou domotique. BACnet est souvent perçu comme le protocole qui permettra d'unifier tous les autres, grâce à ses fonctionnalités avancées. Il est donc actuellement très apprécié pour la supervision dans la GTB.

## F) QUELQUES PROTOCOLES SANS FIL

**EnOcean** est une technologie radio (868 MHz) normalisée IEC (ISO/IEC 14543-3-10) promue par l'EnOcean Alliance et par la société EnOcean.

Le but de ce protocole est de faire dialoguer divers appareils en utilisant la récolte d'énergie environnante. Les équipements EnOcean sont donc sans fil et sans pile!

L'énergie récoltée dans l'environnement peut provenir de divers principes physiques:

- effet piézoélectrique inverse,
- effet photoélectrique,
- effet Seebeck.

**6LowPAN** est l'acronyme de IPv6 Low power Wireless Personal Area Networks. Ce projet de l'IETF vise à définir les mécanismes d'encapsulation et de compression d'en-tête des protocoles IPv4 et surtout IPv6 pour la norme 802.15.4.

Ce projet, bien que disposant déjà de produits commercialisés, n'est pas encore aussi mature que les autres solutions présentées plus haut. Il devrait arriver à maturité à moyen terme, et reçoit déjà un très bon accueil par les acteurs du milieu, ce qui devrait lui assurer un bel avenir.

L'intégration de la pile 6LowPAN a été réalisée dans le noyau Linux depuis la version 3.3 et le travail continue sur ce sujet.

**ZigBee** (dont le nom provient de l'analogie avec une abeille qui zigzague pour trouver son point d'arrivée) est un protocole libre régi par la ZigBee Alliance.

Le protocole ZigBee fonctionne généralement au-dessus de 802.15.4, il implémente les couches réseaux et applicatives du modèle OSI.

Cette mise en œuvre permet de profiter des avantages de la norme 802.15.4 en termes de communication. Les principaux ajouts sont les couches réseau et applicatives qui permettent, entre autres, de réaliser du routage de messages, l'ajout des ZDO (ZigBee Device Object) régis par la spécification, et l'ajout des objets personnalisés par les constructeurs.

Ce protocole souffre tout de même de certains problèmes, le plus important étant un problème d'interopérabilité. En effet, le protocole laisse aux constructeurs la possibilité de définir leurs propres objets applicatifs. Les constructeurs ne s'en sont bien sûr pas privés, ce qui cause des incompatibilités totales, certains constructeurs ayant ré-implémenté leurs propres protocoles non documentés au-dessus de ZigBee. Attention, donc, lors de l'achat de tels équipements.

L'intégration de la pile ZigBee/802.15.4 est réalisée dans le noyau Linux depuis la version 2.6.31.

ZigBee amorce sa mutation vers un réseau IP via la spécification Smart Energy Profile version 2.0

## 1.5 OPTIMISATION DE FONCTIONNEMENT DANS LES BATIMENTS EXISTANTS

Pour le renouvellement d'un éclairage existant, il existe cinq possibilités:

1. Remplacer les lampes
2. Modifier les luminaires existants
3. Remplacer les luminaires
4. Installer un réglage de lumière ou optimiser les réglages déjà existants
5. Concevoir un éclairage Minergie.

Les coûts d'investissement de ces mesures sont très différents :

- Remplacer les luminaires inefficients par des luminaires efficaces avec une puissance de lampe plus faible et un rendement plus élevé (au moins 75 %) (mesure n° 11).
- Remplacer les commutations manuelles par des détecteurs de présence, combinés à des capteurs de lumière du jour (mesure n° 20).
- Comme protection solaire, installer des lames claires, réglables et situées à l'extérieur.

Conception globale selon Minergie: pour un assainissement global, la solution la plus efficace peut la plupart du temps être trouvée avec un nouveau concept d'éclairage, en particulier dans les locaux où un nouveau positionnement des luminaires est possible.

### **Remplacer les lampes (Retrofit)**

Mesures 1 à 5 et 23 du tableau « Mesure à prendre en cas de remplacement de l'éclairage ». Les lampes inefficientes sont remplacées une à une par des lampes efficaces ayant le même culot. Pour les lampes dont les culots sont décrits ci-dessous, cette mesure est possible.

- Les lampes LED graduables sont disponibles. Il faut faire attention à la puissance minimale du gradateur utilisé, en général elle est de 25 watts.
- N'utiliser que des lampes économiques d'au moins 75 000 cycles de commutation avec au maximum 60 secondes de temps d'amorçage. Ces données sont déclarées depuis le 1er septembre 2010 sur l'emballage des lampes.
- N'utiliser que des lampes LED ayant un indice de rendu des couleurs (Ra ou IRC) d'au moins 80 et une température de couleur de 4000 kelvins maximum. Ces données doivent être déclarées depuis le 1er septembre 2010 sur l'emballage des lampes.
- S'assurer que le flux de la lampe LED correspondra à celui de la lampe remplacée. Il est donc important d'étudier les futurs niveaux d'éclairage, compte tenu du facteur de maintenance de 125%.

Cette solution n'est pas privilégiée par l'OBA, car le fournisseur ne garantit ni le bon fonctionnement du Retrofit, ni la durée de vie des lampes.

### **Modifier les luminaires existants**

Mesures 6 à 9, 21 et 23 du tableau. Toutes les lampes (à l'exception des lampes à incandescence) nécessitent un dispositif de fonctionnement qui convertit le courant alternatif de 230V en un autre type de courant. Ces dispositifs portent des noms divers: ballast, dispositif de fonctionnement, transformateur, bloc d'alimentation, pilote, driver. Les dispositifs de fonctionnement périmés ou inadaptés doivent être remplacés.

Cette solution n'est pas privilégiée par l'OBA, car le fournisseur ne garantit ni le bon fonctionnement, ni la durée de vie des lampes.

### **Remplacer les luminaires**

Mesures 10 à 14 et 21 à 23 du tableau. Si les lampes ne peuvent pas être remplacées en raison de culots ou de dispositifs de fonctionnement inadaptés et qu'une modification des luminaires existants n'est pas possible, le remplacement des luminaires est la seule réponse possible. Il faudra alors étudier la solution la plus pertinente entre un remplacement un pour un au même endroit et une solution optimisée susceptible de modifier le nombre et l'emplacement des luminaires.

Cette solution est privilégiée par l'OBA.

### **Installer ou optimiser les réglages de lumière**

Mesures 15 à 20 du tableau. Les réglages de lumière réalisés dans des conditions optimales peuvent apporter de très grandes économies. Dans de nombreux cas, l'environnement n'est pas optimal: lumière naturelle trop peu utilisable, positionnement des capteurs non optimal, aucun ajustement des capteurs et enfin autoconsommation élevée du réglage. Les mesures montrent que des réglages simples fournissent la plupart du temps de plus grandes économies d'énergie que les systèmes complexes.

Cette optimisation est privilégiée par l'OBA et à prendre en compte dans chaque projet. Quelle que soit la méthode de rénovation utilisée, le mandataire devra être en mesure de justifier ses choix sur des critères photométriques, énergétiques et financiers.



## 1.5.1 MESURES A PRENDRE EN CAS DE REMPLACEMENT DE L'ECLAIRAGE

- N° Mesures**
- 1 **Remplacer les lampes à incandescence classiques par des lampes économiques ou des lampes LED.** Les puissances de 100W, 75W, 60W, 40 W ou 25W sont remplacées par des lampes économiques avec env. 25% de la puissance de la lampe à incandescence. Types de culot: E27 ou E14. Pour les LED, environ 15% de la puissance suffisent.
  - 2 **Remplacer les spots à incandescence par des spots LED.** Les puissances de 100 watts, 75W, 60W, 40W ou 25W sont remplacées par des spots LED avec env. 15% de la puissance des lampes à incandescence. Types de culot: E27, E14.
  - 3 **Remplacer les spots halogènes par des spots LED.** Intéressant surtout pour les spots de Type «PAR 50» avec culots GU 5.3, GU10, G4, E27 et E14 largement répandus. Les halogènes 20W correspondent aux LED 4W, 35W correspondent au LED 7W et les 50W correspondent au LED 10W, voire moins : on trouve maintenant des spots de 8.5W présentant un éclairage comparable.
  - 4 **Remplacer les lampes économiques dans le domaine extérieur** par des lampes économiques spéciales Extérieur ou des lampes LED. Les lampes économiques usuelles ne conviennent pas pour l'extérieur.
  - 5 **Remplacer les lampes économiques de moindre valeur** par des lampes de valeur élevée et résistantes aux commutations (nombre de cycles de commutation supérieur à 75 000).
  - 6 **High Efficiency au lieu de High Output.** Pour les tubes fluorescents T5 (diamètre 16 mm), il est possible de remplacer les tubes High-Output (80W, 54W, 39W) par des tubes High-Efficiency (49W, 35W, 28W), lorsqu'un éclairage lumineux d'env. 30% trop élevé est mesuré (ce qui est fréquemment le cas). Lorsqu'il faut remplacer le ballast, alors on pourra aussi sélectionner un tube T5 LED.
  - 7 **Intégrer des adaptateurs T5 et un réflecteur.** Les tubes avec 26 mm de diamètre et un ballast magnétique ont jusqu'ici été remplacés par des tubes avec 16 mm de diamètre. Ce diamètre de 16 mm correspond à 5 pouces, d'où la désignation T5. Les tubes T5 d'env. 5 cm plus courts sont complétés par une pièce d'adaptation contenant un ballast électronique. Il faudrait en outre installer un réflecteur qui dirige la lumière vers le bas. Cette mesure n'est recommandée que pour des réglettes simples et dans des locaux avec des exigences d'éclairage basses (p. ex. dépôt). Actuellement, le remplacement par des tubes LED 26mm avec « pont » LED est privilégié.
  - 8 **Transformer les downlights surdimensionnés.** Il arrive fréquemment que le nombre de downlights dans les zones de passage soit trop élevé. Un éclairage lumineux de 100 lux est suffisant. Par le remplacement de l'appareil, le plafonnier peut être transformé. Un downlight à 1 lampe est préférable à un plafonnier à 2 lampes. Pour cette mesure, la solution actuellement la plus rentable est la LED (mesure 13).
  - 9 **Supprimer les luminaires superflus.** Certains luminaires fonctionnent inutilement ou le local est beaucoup trop clair. Dans ce cas, il est recommandé de mettre certains luminaires hors service.
  - 10 **Remplacer les plafonniers et les luminaires muraux un par un.** Remplacer un luminaire inefficace par une puissance inférieure et un rendement plus élevé (au moins 75%).
  - 11 **Intégrer des LED aux downlights.** Les luminaires LED sont actuellement la meilleure option dans les couloirs. Dans de nombreux cas, il est possible de remplacer les downlights usuels par des lampes LED avec la moitié de la puissance, voire nettement moins en cas de remplacement d'halogènes.
  - 12 **Remplacer les réglettes lumineuses avec tubes fluorescents par des LED.** Remplacer les tubes fluorescents insérés dans le plafond (env. 30W à 50W par mètre) par des réglettes lumineuses à LED (12W à 20W par mètre).
  - 13 **Renouveler les luminaires sur pied.** Des luminaires sur pied plus anciens avec des lampes fluorescentes compactes avec 4 fois 54W peuvent être remplacés par des luminaires sur pied avec 4 fois 28W souvent avec environ 30% de lumière directe. Désormais sont également disponibles des luminaires à pied LED qui avec une centaine de Watt éclairent tout autant avec une proportion directe/indirecte de 30/70% également.
  - 14 **Remplacer les luminaires de bureau par des LED.** Remplacer les lampes à incandescence ou halogènes par des luminaires de bureau avec LED. Les LED conviennent mieux pour cette application que les lampes économiques (env. 10W à 15W LED par poste de travail) ne serait-ce qu'en raison de la moindre génération d'ondes électromagnétiques.
  - 15 **Séparer les groupes de luminaires.** Le réglage le plus simple de la lumière consiste en la répartition d'une installation d'éclairage sur plusieurs «groupes de lumière». Au lieu d'un seul interrupteur, en installer deux à quatre.
  - 16 **Intégrer une minuterie.** Dans les locaux avec de courtes présences, il est recommandé d'installer des minuteries ou des détecteurs de mouvements on/off.
  - 17 **Installer un détecteur de présence ou de mouvement.** Il est recommandé d'installer des détecteurs dans les couloirs, vestiaires, stocks et autres locaux similaires avec peu de circulation de personnes; dans les locaux avec lumière du jour, combinés avec des capteurs de luminosité. Réglage recommandé: En et Hors automatique (auto on/off).
  - 18 **Installer des détecteurs de présence.** Dans les bureaux et les salles de classe, il est recommandé de remplacer les enclenchements manuels par des détecteurs de présence; dans les locaux avec lumière du jour, combinés avec des capteurs de luminosité. Réglage recommandé: Hors automatique, En manuel (c.-à-d. que la lumière ne s'allume pas automatiquement, mais il faut appuyer sur un bouton).
  - 19 **Ajuster le réglage de la luminosité existante.** Le niveau de luminosité est souvent incorrect ou mal réglé, ou les délais sont trop longs, et la lumière ne s'éteint pas.
  - 20 **Déplacer les capteurs de lumière existants.** Pour des raisons esthétiques, les capteurs de lumière sont souvent mal positionnés, ce qui entrave les commutations souhaitées. Le nouvel emplacement devrait être choisi strictement en fonction de la reconnaissance de la lumière du jour optimale ou de la présence.
  - 21 **Traitement des polluants.** Un diagnostic avant travaux doit être établi. L'amiante, le PCB, le plomb et le mercure doivent être pris en compte.
  - 22 **Calcul d'éclairage.** Un calcul doit être effectué, afin de confirmer si les emplacements existants peuvent être maintenus ou si le calepinage est à revoir.
  - 23 **Intégration de la technologie LED.**



Pour les zones de travail prolongées ou postes de travail, la sécurité biochromatique et guidance pour l'évaluation de la sécurité photobiologique des lampes d'éclairage LED pour la santé de l'œil doit être confirmée par la présentation d'un certificat établi par un organe de contrôle reconnu, l'appartenance du matériel proposé, dans son ensemble, à la classe de risque G0 ou G1 selon EN 62471, 62471-2:2009 et CEI/TR 62778.

**Un assainissement réalisé par des spécialistes.** Une mise à niveau des systèmes d'éclairage existants s'impose pour les installations non assainies ou pour celles qui ne le sont que d'une façon restreinte. Il est toutefois nécessaire de noter par exemple que le remplacement d'un ballast est susceptible de nuire à la sécurité du luminaire. Par conséquent, l'exploitant devient responsable de la sécurité de l'installation. Par ailleurs, les valeurs de la planification de l'éclairage ne sont plus valables. L'installation ne répond éventuellement plus aux normes en vigueur. La mise à niveau avec une commande d'éclairage doit être effectuée par des spécialistes.



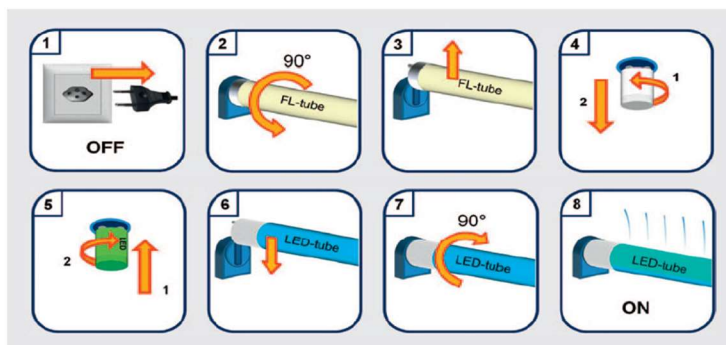
### 1.5.2 RETROFIT TUBE FLUO-TUBE LED

#### Exigences relatives aux tubes LED de remplacement selon la norme IEC 62776

- Inscription correcte, instructions de montage et manuel d'utilisation correctes.
- Interchangeabilité sans danger dans n'importe quelle armature FL.
- Protection contre le détachement.
- Températures maximales lors du fonctionnement.
- Protection lors de l'encliquetage et du décliquetage.

#### Exigences relatives à la mise sur le marché selon l'OMBT

- Les tubes LED qui affichent une tension transitoire dangereuse entre leurs deux extrémités demeurent interdits. L'isolation principale doit au moins être assurée. Le courant de contact maximal lors de l'insertion / l'encliquetage unilatéral(e) d'un tube LED s'élève à 0,7 mA (valeur de crête)
- La modification d'une armature FL existante n'est autorisée selon l'OMBT qu'en procédant comme suit ([figure 2](#)) :
- Les tubes LED conformes à la norme IEC 62776 sont autorisés en Suisse, à une exception près : les tubes LED qui possèdent un côté ouvert ([figure 3](#)) ne peuvent pas être mis sur le marché. La raison tient à ce que cette configuration ne fonctionne dans aucune armature existante. L'usage de ces tubes LED supposerait un luminaire modifié d'une manière interdite (le schéma ne correspond pas à la [figure 2](#)).



ESTI

Figure 1 Instructions pour un remplacement sûr (IEC 62776).

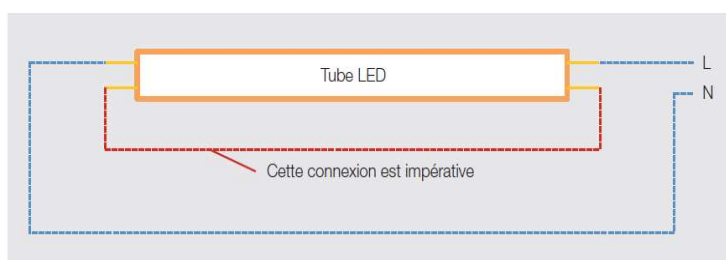


Figure 2 Vrai : ce schéma doit être respecté en cas de recâblage. Les autres types de câblages sont interdits en Suisse.

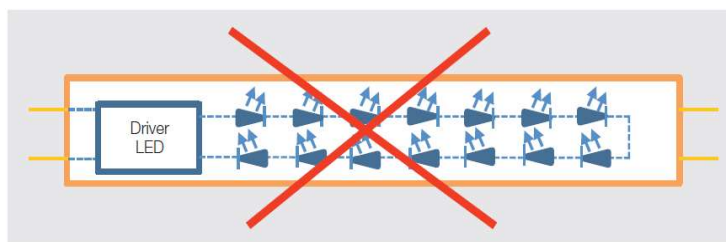


Figure 3 Faux : cette configuration est interdite en Suisse. Une connexion intérieure des extrémités vides est une obligation. Dans le cas contraire, le tube LED ne peut pas être utilisé comme remplacement dans une armature avec ballast électromagnétique conventionnel.

## 1.6 TAXE ANTICIPEE DE RECYCLAGE (TAR)

Les luminaires et sources lumineuses sont soumis à la TAR. Ils contiennent des matières premières précieuses qui peuvent être recyclées et des substances nocives qui doivent être extraites correctement à la fin de vie du produit. Cela se fait dans un processus de recyclage constitué spécialement à cet effet.

Tout luminaire et toute source lumineuse (à l'exception des lampes à incandescence et à halogène) sont soumis à l'OREA (Ordonnance sur la restitution, la reprise et l'élimination des appareils électriques et électroniques). Cette ordonnance fixe la manière de traiter les produits en fin de vie.

Pour chaque luminaire et chaque source lumineuse contenant des substances nocives, il est prélevé à l'achat une taxe (TAR). Il est appliqué le principe selon lequel la taxe est calculée par unité indivisible.

### Calcul de la taxe

Pour le calcul de la taxe, les articles sont partagés en luminaires et sources lumineuses.

#### 1.6.2 LUMINAIRES

Pour les luminaires, il est appliqué les catégories d'articles suivantes:

Catégorie d'article 700180: Luminaire sans source lumineuse

Catégorie d'article 700181: Luminaire à 1 source lumineuse jointe

Catégorie d'article 700182: Luminaire à 2 sources lumineuses jointes et ainsi de suite jusqu'à la catégorie

d'article 700190: Luminaire à 10 sources lumineuses jointes.

### 1.6.3 SOURCES LUMINEUSES

Catégorie d'article 700200: Source lumineuse seule, sans luminaire.

Variante 1 : **Le luminaire est livré sans source lumineuse**

Calcul de la TAR - catégorie d'article 700180 = CHF 0.18 (TVA exclue)

Variante 2: **Luminaire livré à 3 sources lumineuses (lampes à incandescence à halogène)**

Calcul de la TAR - catégorie d'article 700180 = CHF 0.18 (TVA exclue)

Etant donné que les lampes à halogène ne sont pas soumises à la taxe, il ne faut tenir compte que du luminaire.

Variante 3: **Luminaire livré à 3 sources lumineuses (LED Retrofit)**

Calcul de la TAR - catégorie d'article 700183 = CHF 0.66 (TVA exclue)

Les LED Retrofit étant soumises à la taxe individuellement, il faut ajouter pour les LED 3 x CHF 0.16 (TVA exclue) au luminaire (CHF 0.18 TVA exclue).

## 1.7 DEFINITIONS DES GRANDEURS LUMINEUSES ET FACTEURS DE CHOIX DE L'ECLAIRAGE

### Intensité lumineuse

Le flux lumineux émis dans une direction donnée est appelé intensité lumineuse. On parle aussi d'éclat perçu par l'œil humain.

Unité : candela – cd

1 bougie = 1 candela.

1 ampoule à filament = 1 candela par watt

Cette grandeur est utilisée pour l'établissement des courbes de la répartition de la lumière.

Cette valeur donnée par le fabricant correspond à l'intensité lumineuse maximale dans la direction de rayonnement principale de la source ou du luminaire, mais elle ne dit rien sur sa quantité de lumière et sur son efficacité énergétique.

### Flux lumineux

L'énergie rayonnante émise dans toutes les directions par une source lumineuse et évaluée selon la courbe de sensibilité de l'œil.

Unité : lumen – lm

1 lumen = 1 lux \* 1 m<sup>2</sup> pour un cône de diffusion sphérique.

Le jaune et le vert sont mieux perçus que le rouge et le bleu. Cette courbe de pondération de l'œil humain s'appelle la courbe V-Lambda. Le lumen est la caractéristique normative d'une lampe.

### Eclairement

Exprime la quantité de lumière incidente par unité de surface.

Unité : lux - lx

1 lux = 1 lumen par m<sup>2</sup> pour un cône de diffusion sphérique.

L'œil humain peut voir des éclaircissements lumineux allant de moins d'un lux (pleine lune) jusqu'à 100 000 lux et plus (plein soleil de midi).

### Luminance

La lumière absorbée par l'œil est appelée luminance, un phénomène où la taille du corps lumineux (lumière, lampe, écran ou lumière réfléchi d'un objet éclairé) joue le rôle le plus important.

Un corps lumineux produit dans l'œil une très haute luminance lorsque l'intensité lumineuse et la surface éclairée sont grandes.

Une luminance élevée peut également être obtenue avec une grande intensité lumineuse et une surface éclairée relativement petite, par exemple la lumière d'un spot LED.

Si la surface éclairée est grossie par un diffuseur, la luminance baisse de manière significative.

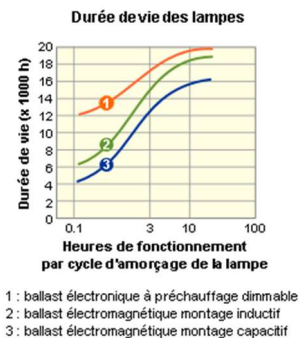
La luminance est utilisée pour évaluer la luminosité des surfaces éclairées. Pour cela, l'intensité d'une source lumineuse dirigée dans la direction d'un observateur est divisée par la taille de la surface lumineuse.

#### **Facteur de durée de vie:**

Depuis 2013, les lampes économiques doivent être fabriquées de sorte qu'après 6000 heures de fonctionnement, au moins 70% des lampes fonctionnent encore (50 % en 2009).

#### **Durée de vie:**

La durée de vie pour les fluorescents dépend du type de ballast qui leur est associé. Avec un ballast électronique avec préchauffage des électrodes, la durée de vie utile des tubes de 16 ou 26mm de diamètre atteint environ 16 000H. Dans les autres cas (ballast électromagnétique ou électronique sans préchauffage), elle est voisine de 10 000H. Le nombre d'allumages a également une influence importante sur la durée de vie des lampes. Une lampe allumée et éteinte toutes les 15 minutes a une durée de vie 3 fois plus courte qu'une lampe fonctionnant par plages de 10H. Dans le cas des lampes à ballast électronique avec préchauffage, l'augmentation de la fréquence d'allumage ne diminue la durée de vie qu'à raison de 0.02H par allumage.



La durée de vie pour les LED est sensiblement plus longue et dépend avant tout de la qualité de la diffusion de chaleur des diodes et de paramètres tel le degré d'encastrement et la ventilation du luminaire. Ainsi, on peut compter de 10 000H à 50 000H et plus de durée de vie utile, c'est-à-dire jusqu'au moment où la diode a perdu 30% de sa capacité d'éclairage (L70).

L'OBA impose une garantie de 5 ans pour les luminaires LED. La perte de flux ne doit pas être supérieure à L80 sur une durée de 50'000 heures d'allumage. C'est-à-dire que la perte de flux ne doit pas excéder les 20% sur cette période dans le mesure du possible. Pour les fluorescents dimmables, le rôdage préconisé à 100 heures à puissance maximales (100%) est à prendre en considération pour la garantie et la planification du projet.

#### **Défaillance précoce**

Un maximum de 5% des lampes peuvent ne plus fonctionner prématurément. Le temps de fonctionnement jusqu'à la défaillance prématurée est défini différemment pour les lampes économiques et les lampes à incandescence.

#### **Le nombre de cycles de commutation :**

Il indique la fréquence à laquelle une lampe peut être mise sous tension et hors tension jusqu'à ce qu'elle ne fonctionne plus. Ce nombre fluctue énormément dans la pratique: les meilleures lampes économiques peuvent atteindre 1 million de commutations, les moins bonnes atteignent toutes justes 3000 commutations (facteur 300).

#### **Temps de démarrage:**

C'est la durée qui suit le temps d'allumage jusqu'à ce que 60% de la diffusion lumineuse maximale soit disponible. Comme le démarrage est logarithmique, la durée est égale à plusieurs fois 60% de temps de démarrage jusqu'à 100% de diffusion lumineuse. Pour les lampes économiques, cela pouvait durer jusqu'à 15 minutes. L'œil humain perçoit toutefois à peine le changement entre 60% et 100%. Les critères « Temps de démarrage » et « Nombre de cycles de commutation » sont opposés d'un point de vue technique.

Pour les LED, le temps d'allumage est d'environ 150 à 500 millisecondes.

#### **Binning MacAdam:**

Une ellipse de MacAdam est une surface partielle de la table des couleurs normalisées fixée en 1931 par la CIE. Cette ellipse décrit des points chromatiques définis par leurs coordonnées x et y de toutes les couleurs de comparaison autour d'une couleur de référence du diagramme. Elle est basée sur la sensibilité de la perception du stimulus de couleurs dépendant du type de couleur, que le chercheur David Lewis MacAdam a découvert pour la première fois au cours des années 1940.

Une ellipse de MacAdam de niveau 1 représente les points chromatiques que 68,3 pour cent des personnes perçoivent encore comme différents (les 68,3 pour cent correspondent à l'écart standard d'une distribution de

Gauss). Le niveau 2 englobe déjà la perception de 95,4 pour cent des personnes – donc deux écarts standard et le niveau 3 la perception de 99,4 pour cent.

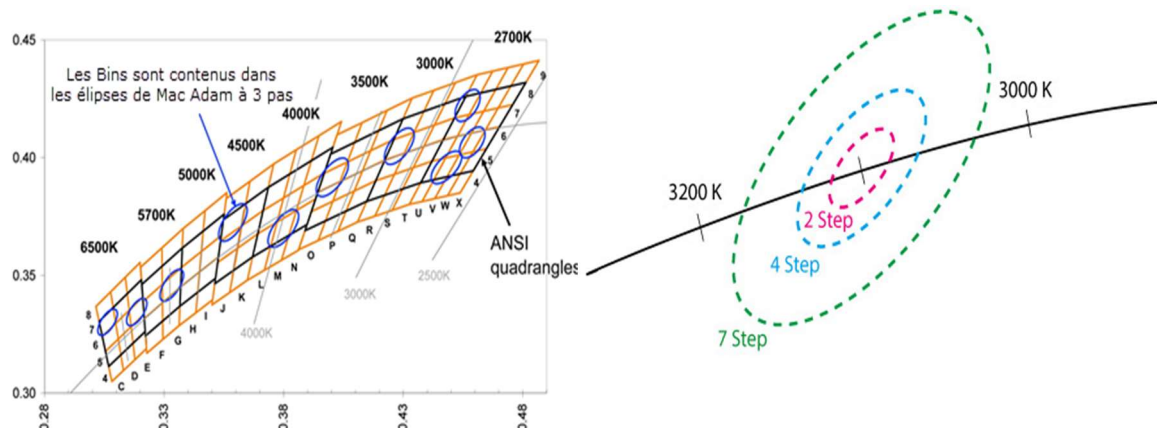
La question est de savoir si l'émission de tous les exemplaires d'un lot est considérée par la plupart des gens comme étant de couleur identique. Ensuite, il s'agit dans l'application de régler de manière identique et stable le courant de service des rangées parallèles de LED. Car une variation de l'intensité du courant fait non seulement varier le flux lumineux mais aussi le point chromatique. Electroniquement, cette tâche est facile à réaliser. Une solution adéquate exige cependant aussi que l'alimentation utilisée fournisse vraiment le courant spécifié pendant la durée de la Lumen Maintenance.

L'OBA tolère un MacAdam step entre 1 et 3 au maximum selon l'exigence du projet.

**La constance de couleur des LED au cours de leur durée de vie.** Cela vaut particulièrement pour les LED à lumière blanche dont l'émission est presque toujours un mélange de bleu (primaire) et de jaune (secondaire). Les effets de vieillissement jouent un rôle mais il n'est pas facile de le prévoir. Il serait surtout important que le point chromatique de tous les exemplaires d'un lot se décale avec le temps dans une direction. Le déplacement progressif du point chromatique est dû au désagrégement de matériau dans la puce ou le phosphore qui la recouvre.

Une lente coloration de la lentille peut aussi entraîner un jaunissement et donc un décalage du point chromatique. La pénétration de petites quantités de vapeur d'eau peut aussi provoquer des changements durables du point chromatique.

C'est pourquoi la qualité de la source est primordiale.



#### Facteur de conservation du flux lumineux

Tous les types de lampes perdent en puissance lumineuse avec le temps, le flux lumineux diminue. Avec le facteur de conservation du flux lumineux, on définit le pourcentage de lumière par rapport à la valeur initiale après 2000 heures, respectivement 6000 heures. Cette valeur joue un rôle important en particulier pour les lampes LED à très longue durée de vie.

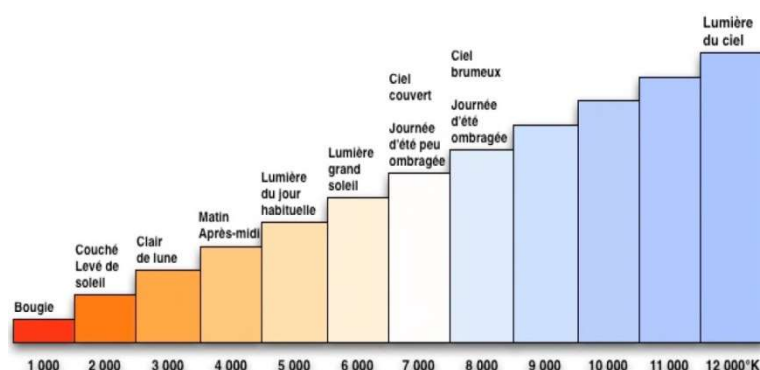
#### Facteur de puissance

Grandeur électrique qui indique le rapport entre la puissance active et la puissance apparente. C'est le chiffre caractéristique pour l'évaluation de la qualité technique du produit et de la pollution du réseau qui y est liée. Que les lampes économiques et certaines ampoules LED par exemple, puissent indiquer un facteur de puissance de 0,5 est très problématique du point de vue de l'ingénieur et ne peut être expliqué que d'un point de vue économique.

On privilégiera les lampes avec un facteur de puissance supérieur à 0.8.

#### Température de couleur en degré Kelvin

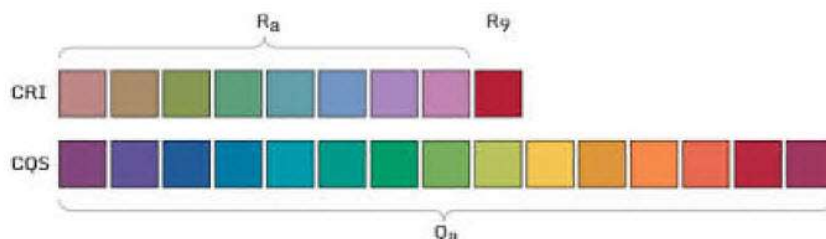
Une température de couleur comprise entre 2500 et 3000 kelvins est caractérisée par blanc chaud, le blanc « lumière du jour » se situant à 6500 kelvins. Avec les lampes économiques et les LED, toutes les températures de couleur peuvent être générées, les lampes à incandescence et halogènes étant toujours blanc chaud.



En prenant en compte l'IRC, UGR, rendement lm/W, le cycle circadien et le groupe de risque G0 ou G1, l'OBA impose une température de 4'000 kelvins (blanc neutre).

### IRC et CQS

Il correspond à l'indice de rendu des couleurs. Plus la valeur Ra est élevée, meilleure est la restitution des couleurs de l'objet éclairé par la lumière artificielle. La valeur Ra maximale est de 100 (ampoule à incandescence). Attention le panel de comparaison RA ne se fait pas sur tout le spectre visible (CQS). Cette indication est donc fortement liée aux habitudes de société Europe vers les températures 2500-3000K et Japon de 4'500 à 6'000K.



La norme indique un IRC minimum de 80 dans les bureaux et de 70 pour les locaux industriels et dépôts.

CODE	IRC Indice couleurs	Température de couleur Teinte de lumière
825	82 à 85	2500 K blanc orangé
827	82 à 85	2700 K blanc très chaud
830	82 à 85	3000 K blanc chaud
840	82 à 85	4000 K blanc neutre, CRI de 0,8
930	92 à 98	3000 K blanc chaud
940	92 à 98	4000 K blanc neutre, CRI de 0,9

Pour des raisons de qualité de l'IRC, d'uniformité et de maximisation, l'OBA demande un indice de 80 .

### Rayonnement ultraviolet

Les mêmes exigences s'appliquent à tous les types de lampes. Pour les LED, le pourcentage UV de la lumière est significativement plus faible que pour toutes les autres lampes. Par conséquent, les LED sont très intéressantes pour l'éclairage des musées et des magasins.

### Mercure

La valeur de 5,0 mg de mercure par lampe économique est définie par la directive européenne 2002/95/CE RoHS destinée à limiter l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les appareils électriques et

électroniques : Restriction (of the use Of certain) Hazardous Substances). Sans mercure, une lampe économique ne peut pas fonctionner. Mais la quantité de mercure pouvant être réduite, la plus faible teneur en mercure d'une lampe économique est de 1,2 mg environ.

Sélectionner les lampes présentant la teneur en mercure la plus faible possible.

#### **Compatibilité électromagnétique**

Tout appareil électrique génère d'une part des émissions électromagnétiques et peut d'autre part être plus ou moins influencé par des perturbations électriques et électromagnétiques (immunité). Cette influence entre appareils est appelée compatibilité électromagnétique (CEM). La notion EM RF (champs électromagnétiques) s'est imposée pour l'influence des émissions électromagnétiques sur la biologie.

Normes de produits importantes pour la CEM et l'EM RF de luminaires

<u>Norme</u>	<u>Thème</u>
EN 55015 / CISPR15	Emission
EN / IEC 61547	Immunité
EN / IEC 61000-3-2	Harmoniques
EN / IEC 61000-3-3	Vacillement
EN / IEC 62493	EM RF

Parmi les différents phénomènes CEM, pour les LED de substitution et LED à courant alternatif, ce sont surtout les perturbations conduites, perturbations rayonnées, la génération d'harmoniques et l'immunité vis-à-vis des perturbations pulsées qui sont intéressantes. D'une manière générale: plus il y a d'électronique, plus il y a de problèmes CEM.

#### **Effet stroboscopique**

Les oscillations liées aux variations du flux lumineux dues au courant électrique alternatif peuvent troubler la vision ou fausser la perception d'objets mobiles. Ce scintillement invisible peut favoriser également l'apparition de maux de tête et fatiguer les yeux. Cet effet sera supprimé par des mesures appropriées, telles que le couplage de plusieurs luminaires sur des phases différentes ou l'utilisation de lampes qui ne produisent aucun scintillement.

#### **Papillotement**

On a examiné la variation de luminosité pour un sinus 50Hz normal de la tension de réseau. La plupart des LED de substitution à régulateur à coupure de phase ne présentent que peu de variations de luminosité ou même aucune, étant donné que les LED elles-mêmes sont alimentées en courant continu régulé.

Les lampes à économie d'énergie et les lampes fluo T5 ne présentent également que de faibles variations de lumière, du même ordre de grandeur que pour la lampe à incandescence.

#### **Effets du papillotement**

Populations sensibles : crises d'épilepsie après une courte exposition (quelques secondes) à des papillotements de fréquences basses (3Hz à 70Hz)

Population générale : migraines, maux de tête, fatigue visuelle, après des expositions longues (quelques heures) à des fréquences allant jusqu'à 100Hz.

#### **Papillotement des LED**

On trouve « de tout » dans l'éclairage LED :

- Produits à très faible papillotement à 350 Hz
- Produits avec papillotement important (0 à 100%) à 100Hz
- Produits avec papillotement important (0 à 100%) à 30Hz

L'OBA impose une prise en compte dans tous les dossiers d'éclairage avec la demande d'indication des valeurs, afin de limiter au maximum, mais de préférence supprimer l'effet stroboscopique et l'effet de papillotement.

#### **Energie grise**

Le calcul de l'énergie grise pour MINERGIE-A, MINERGIE-ECO, MINERGIE-P-ECO et MINERGIE-A-ECO se conforme au cahier technique SIA 2032 „L'énergie grise des bâtiments“. L'énergie grise y est définie comme la quantité totale d'énergie primaire non renouvelable nécessaire pour tous les processus en amont, depuis l'extraction des matières premières jusqu'aux procédés de fabrication et de transformation, et pour



l'élimination, y compris les transports et les moyens auxiliaires nécessaires à cet effet. On l'appelle également « dépense d'énergie non renouvelable cumulée ».

Bien que l'énergie nécessaire à la production d'une ampoule LED (5kWh) soit trois fois plus élevée que celle nécessaire à la production d'une lampe halogène (1.5kWh) et cinq fois supérieure à celle nécessaire à la production d'une lampe à incandescence (0.9kWh), cet inconvénient est compensé en moins de 100 heures d'utilisation grâce à la faible consommation d'électricité de la LED.

## 1.8 CHOIX DE LA LAMPE (SOURCE)

### 1.8.1 TYPOLOGIE DES SOURCES

Type d'ampoule	Efficacité par rapport à l'ampoule à incandescence	Rendement lumineux
Ampoule à incandescence (tungstène)	1	12 (11-19 lm/W)
Ampoule halogènes à basse tension	1.5	18 (12 - 22 lm/W)
Diode électroluminescente	4 à 10	40 à 160 (200 à 300 lm/W dans quelques années)
Tube fluorescent	7	70 (45 à 100 lm/W)
Ampoule fluo compacte	6	70 (30 à 87 lm/W)
Ampoule au sodium basse pression (pour l'éclairage urbain)	8 à 17	100 à 200 lm/W

L'OBA demande un minimum de 80 lm/W

#### A) TUBE FLUORESCENT A DOUBLE CULOT

Grâce à la synchronisation haute fréquence (environ 50 000 décharges par seconde), la lampe fluorescente T5 ne papillote plus et le confort visuel est meilleur. Les pertes sont également moindres avec les ballasts électroniques qu'avec les dispositifs conventionnels.

#### Graduation des lampes fluorescentes

Les ballasts électroniques graduables nécessitent des dispositifs de commande et des liaisons de commande supplémentaires. Contrairement aux lampes à incandescence (qui deviennent très rougeâtres lors de la graduation), la température de couleur ne change pas avec la graduation des lampes fluorescentes. Pour cette raison, aucune lumière d'ambiance ne peut être produite par la graduation des lampes fluorescentes.

La graduation des tubes fluorescents est sujette à pertes. L'efficacité diminue fortement, surtout avec un niveau de graduation faible. Une lampe fluorescente graduée sur 25 % de flux lumineux absorbe encore 50 % de la puissance de fonctionnement totale. Pour des raisons d'efficacité énergétique, il est peu recommandé d'utiliser des lampes fluorescentes dans la zone de charge située au-dessous de 50 % de leur flux lumineux nominal.

Si l'on utilise des lampes fluorescentes avec des ballasts réglables, les nouvelles lampes doivent subir un **vieillessement préalable** pendant 100 heures à puissance maximale (100 %). Sans cette phase de vieillissement préalable, des pannes et une nette réduction de la durée de vie sont à prévoir.

Si l'on utilise des lampes fluorescentes T5, on tiendra compte du comportement en température du flux lumineux; le flux lumineux maximal n'est atteint que lorsque la température ambiante est de 35°C environ. Les tubes fluorescents supportent mal les basses températures et aussi d'être encastrés dans des espaces exigus sans circulation d'air et ils ne devront pas être sélectionnés pour des projets d'éclairage extérieur ou des locaux non chauffés exposés au froid.

#### B) FLUO-COMPACT



Il existe 2 types de lampes fluo compactes, les «tubes repliés» et les lampes économiques avec culot à vis et ballast intégré.

Les lampes économiques en forme de bâton sont de loin les meilleures. Pour les autres formes, un temps de démarrage plutôt long et une capacité de commutation plutôt faible pèsent négativement dans la balance. Si on se décide pour une lampe économique, on devrait si possible se porter vers une lampe en forme de bâton avec une capacité de commutation élevée, c'est-à-dire supérieure à 75 000 activations et désactivations pendant sa durée de vie. Tout comme les tubes fluorescents, les lampes fluo-compactes ne doivent pas être sélectionnées pour des projets d'éclairage extérieur.

L'OBA ne souhaite pas le déploiement de lampes économiques avec ballast intégré. En généralité, il est plus judicieux de se diriger vers une solution LED que FLUO-COMPACT.

### C) LED

Alors qu'il y a 15 ans à peine, la LED était absente des projets d'éclairage, aujourd'hui personne ne songerait à en réaliser un en laissant de côté une technologie qui est devenue la référence. C'est un peu ce qui pourrait aider à différencier un éclairage du XXe siècle d'un éclairage du XXIe siècle.

La LED – light-emitting diode, ou DEL, diode électroluminescente – est un composant électronique à semi-conducteur. Lorsqu'un courant traverse la diode dans le sens passant, celle-ci émet de la lumière. Contrairement aux sources lumineuses conventionnelles, les LED sont des composants électroniques, à cristaux semi-conducteurs.

La LED peut offrir une palette de millions de couleurs et des effets dynamiques que l'éclairage conventionnel ne peut atteindre en termes de conception, de mise en scène et d'ambiance. Grâce à leur capacité et à leur faible rayonnement thermique, les LED peuvent être intégrées à peu près partout. Etant numériques, elles sont programmables, ce qui offre des possibilités illimitées pour un usage créatif et une gestion efficace. Enfin, la durée de vie élevée et les économies d'énergie et d'entretien des LED offrent des solutions d'éclairage potentiellement efficaces. Il s'agit d'une source lumineuse ponctuelle, la lampe LED dispose d'un allumage immédiat. Elle peut être commutée et son intensité est variable à volonté. Les LED sont également nettement supérieures dans le domaine de l'éclairage d'accentuation.

#### Les avantages des LED en bref:

- Durée de vie extrêmement longue et ce quasiment sans entretien: les LED des modules et luminaires offrent des durées de vie utile de quelque 50'000 heures et plus.
- Les LED émettent une lumière focalisée, ponctuelle. Des lentilles servant d'instruments optiques primaires permettent de l'orienter presque sans perte.
- Les LED produisent naturellement une lumière colorée pouvant être convertie en lumière blanche. Le rendu des couleurs atteint  $R_a > 80$  à  $R_a > 97$ .
- Les LED sont très efficaces: l'efficacité lumineuse des luminaires LED peut dépasser 150 lm/W.
- Les LED sont petites et permettent de créer des luminaires compacts et de faible profondeur d'encastrement.
- La lumière des LED est exempte de rayonnement IR et UV direct, elle ménage donc les objets sensibles.
- Les LED sont résistantes aux chocs et aux vibrations. Cet aspect est surtout intéressant pour les applications industrielles, l'éclairage des routes et les appareils mobiles.
- Les LED produisent une lumière sans scintillement, sont variables en continu et commutables à volonté.
- Les LED sont exemptes de mercure et sont éliminées comme déchets électriques.
- Les LED fonctionnent parfaitement à basse température ambiante.

## 1.9 CHOIX DU LUMINAIRE (APPAREIL)

On pourra se référer à la norme EN 60598-1, qui énumère les exigences générales en matière de luminaires incorporant des sources lumineuses électriques opérant jusqu'à 1'000 V. Les exigences et les tests de ce standard couvrent la classification des luminaires, leur marquage, la construction mécanique ainsi que la construction électrique, telles que les procédures de mise à terre et la protection contre les chocs électriques.

Des sections complémentaires consacrées à chaque type particulier de luminaires sont regroupées dans la norme EN 60598-2-1.

Un luminaire est un appareil pouvant recevoir une lampe et établir une connexion vers le réseau électrique. Le luminaire contient également un système optique sous forme de réflecteurs, collimateurs ou autres pour éviter l'éblouissement dans la direction de la lumière. Les ballasts peuvent également en faire partie suivant les lampes.

Tous les luminaires ou boîtiers de luminaires doivent avoir, dans le cas de la tôle d'acier, une épaisseur minimale de 0,8 mm et être dégraissés, pourvus d'une couche de fond et vernis au four ou être revêtus d'un revêtement en poudre.

Les réflecteurs doivent être en aluminium de la plus grande pureté. La surface doit être traitée par procédé électrolytique et anodisée. La dureté et l'épaisseur de la couche d'anodisation doivent garantir une bonne protection des surfaces contre la corrosion ainsi que l'insensibilité aux rayures. En outre, il ne doit pas y avoir de décomposition du spectre de couleur en cas d'équipement par des lampes à fluorescence à 3 et 5 rangées.

Les luminaires proposés doivent être construits selon les directives des normes en vigueur SN EN, Electrosuisse et SLG ainsi que les directives CEM. Le fournisseur est tenu de n'utiliser pour la fabrication des luminaires que des composants techniques et électrotechniques portant le signe correspondant.

### 1.9.1 PRESCRIPTIONS TECHNIQUES ET MECANIQUES

Dans la mesure où aucune exigence n'est formulée dans la description de l'ouvrage, les bases suivantes seront appliquées:

#### **Signe de sécurité**

Conformément aux prescriptions, seuls les appareils approuvés et munis du signe de sécurité seront acceptés. Le fournisseur est responsable de cette application.

#### **Châssis de luminaire FL ou retrofit LED**

Les châssis doivent être conçus afin qu'aucune déformation n'apparaisse lors du transport, du montage ou en cours d'exploitation. Ils seront exécutés en aluminium ou zincor, épaisseur minimum 0,8mm.

Le châssis de l'armature sera prévu avec une borne spéciale pour la mise à terre.

#### **Peinture - traitement de surface**

Toutes les parties métalliques seront protégées efficacement contre la corrosion. Elles seront peintes par thermopoudrage électrostatique ou thermolaquage de couleur blanche sauf spécification contraire du cahier des charges.

Les parties métalliques utilisées dans la construction de luminaires extérieurs devront obligatoirement être zinguées à chaud avant peinture.

#### **Vasques**

Les matériaux utilisés pour les vasques seront exclusivement en fibre organique à base de méthacrylate.

#### **Câblage**

Le câblage interne devra être résistant à la chaleur et sera raccordé sur des bornes de 2,5 mm<sup>2</sup>. Se référer aux prescriptions particulières du cahier des charges pour les raccordements directs ou avec cordons.

#### **Appareils auxiliaires**

D'une manière générale, tous les luminaires seront équipés de ballasts électroniques classe A1 selon CELMA, 1 seul appareil pourra alimenter 2 tubes. Les appareils auxiliaires pour les lampes à décharge seront équipés de bobines parfaitement symétriques tant électriquement que géométriquement. Ils seront à faibles pertes et exempts de bourdonnements.

Pour des exécutions spéciales, par exemple luminaires entièrement encastrés, l'appareillage devra être prévu pour une classe de température supérieure à T<sub>130</sub>.

#### **Douilles**

Système rotatif avec verrouillage. Pour les luminaires étanches, des douilles à vis seront proposées.

#### **Tubes**

En principe tubes diamètre 16mm T5 ou 26mm LED

#### **Ecrans, grilles**

1. La fixation des grilles et écrans devra s'effectuer sans outils.
2. Les grilles seront robustes, sans aucune autre spécification, elles seront prévues avec lamelles transversales disposées en V

3. Les écrans seront en règle générale arrimés à l'armature (fil de nylon).

#### **Réflecteurs**

Les écrans devront supporter les produits de nettoyage modernes. Le montage devra s'effectuer par l'intermédiaire de fixations à cliquets ou vis imperdables.

Après montage du réflecteur, les bornes seront en principe accessibles.

#### **Luminaire à incandescence**

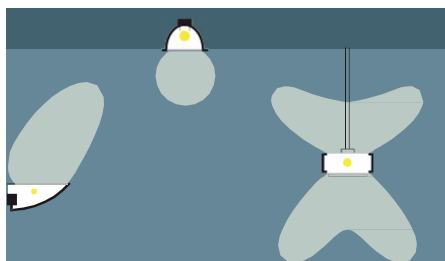
Les luminaires devront répondre aux exigences provoquées par l'échauffement. Les limites d'exploitation seront précisées.

#### **Matériaux**

Tous les matériaux tels que canaux, câbles, protection, etc. seront exempts d'halogène à 99 % minimum

### 1.9.2 CLASSES DE LUMINAIRES ET COURBES PHOTOMETRIQUES

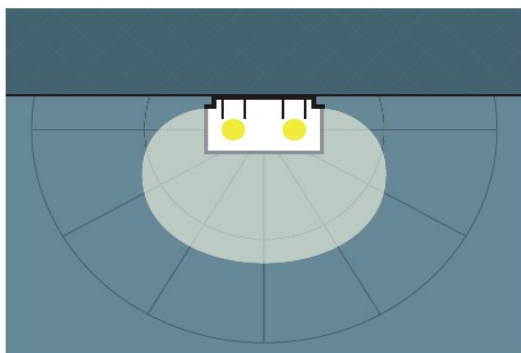
#### **Caractéristiques des luminaires**



La conception d'un luminaire est secondaire pour l'éclairage d'un intérieur. L'effet lumineux dans la pièce et la fonctionnalité de la tâche visuelle, par exemple la lecture, sont essentiels. Ces caractéristiques sont décrites entre autres grâce au flux lumineux (lumen), à l'intensité lumineuse (candela) et aux caractéristiques d'éblouissement.

**Le luminaire donne une certaine orientation à la lumière. Le plafond, un mur ou une table sont éclairés de manière ciblée grâce à des réflecteurs composés de miroirs, de lentilles ou en aluminium anodisé. L'intensité lumineuse est une valeur absolue dans une certaine direction dans une pièce. Cette valeur est essentielle pour savoir si la tâche visuelle est accomplie ou si le luminaire éblouit. Le luminaire est optimisé et formé avec un auvent d'éclairage composé de grilles ou en matériaux translucides. Ce chapitre propose un aperçu des éclairages de poste de travail ordinaires et de leur efficacité.**

## Luminaire en applique «vasque opale »



Les luminaires à vasque sont les ancêtres de l'éclairage fluorescent. Ils étaient utilisés dans presque tous les domaines d'application dans les années 50, 60 et 70. On les retrouve aujourd'hui en architecture sous la forme de parois éclairantes. Ces luminaires ne respectent ni la valeur limite de la norme SIA 380/4 ni les exigences de Minergie.

### Formes

- Montage mural ou au plafond
- Formes allongées, carrées et rondes
- 1 à 4 tubes par luminaire ou lampes fluorescentes compactes
- Matériaux avec différentes translucidités
- Les caches de structure prismatique ont une efficacité supérieure

### Avantages

- Bonne limitation de l'éblouissement
- Bon éclairage d'intérieur
- Construction simple

### Inconvénients

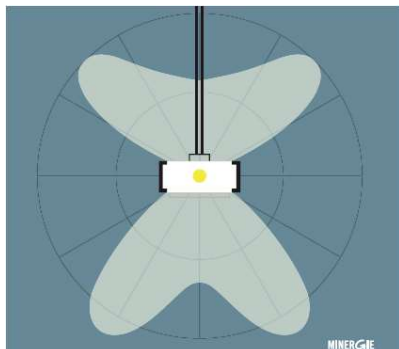
- Très mauvaise efficacité lumineuse (en partie inférieure à 50 %)
- Aspect dominant et impression spatiale monotone
- Les vasques sont des pièges à mouches et à saleté

Indice du local	k = 1,5		k = 3,0	
Facteur de réflexion	clair	sombre	clair	sombre
Rendement lumineux*	67 %	46 %	77 %	52 %
Puissance spécifique 500 (Lux)	11 W/m <sup>2</sup>	16 W/m <sup>2</sup>	9,5 W/m <sup>2</sup>	14,5 W/m <sup>2</sup>
Valeur limite SIA 380/4	15 W/m <sup>2</sup>		12,5 W/m <sup>2</sup>	
Valeur cible SIA 380/4	11 W/m <sup>2</sup>		9 W/m <sup>2</sup>	
Minergie, selon le type de régulation	9 à 13,5 W/m <sup>2</sup>		7,5 à 11,5 W/m <sup>2</sup>	

(Valeurs indicatives, seule la norme fait foi)

\*Calcul avec le facteur de planification usuel de 1,25

## Suspension directe/indirecte



Les suspensions sont très répandues dans les bureaux et peuvent être considérées comme le perfectionnement des luminaires à grille montés au plafond. Ce type de luminaire remplit, en cas de planification optimale, l'exigence de Minergie.

### Formes

- Suspension au plafond avec des barres ou des fils (longueur type de 50 cm)
- Allongées (60 cm à 150 cm) ou systèmes sur rails
- 1 à 3 tubes par luminaire
- Réflecteur miroité (aluminium mat ou blanc)
- Divers systèmes de grilles (lamelles miroitées, aluminium mat ou blanc)

### Avantages

- Rendement lumineux élevé (jusqu'à 90 %)
- Bon éclairage d'intérieur (pas d'effet caverne)
- Large gamme de produits

### Inconvénients

- Ils encombrant l'espace (niveau de luminaire en suspension)
- Installation et câblage fastidieux
- Accumulation de poussière sur le dessus (réduction d'efficacité)

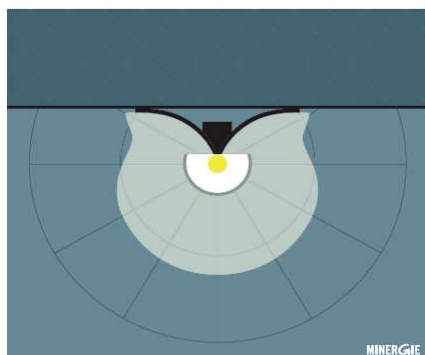
\*Calcul avec le facteur de planification usuel de 1,25

Indice du local	k = 1,5		k = 3,0	
Facteur de réflexion	clair	sombre	clair	sombre
Rendement lumineux*	67 %	46 %	77 %	52 %
Puissance spécifique 500 (Lux)	11 W/m <sup>2</sup>	16 W/m <sup>2</sup>	9,5 W/m <sup>2</sup>	14,5 W/m <sup>2</sup>
Valeur limite SIA 380/4	15 W/m <sup>2</sup>		12,5 W/m <sup>2</sup>	
Valeur cible SIA 380/4	11 W/m <sup>2</sup>		9 W/m <sup>2</sup>	
Minergie, selon le type de régulation	9 à 13,5 W/m <sup>2</sup>		7,5 à 11,5 W/m <sup>2</sup>	

(Valeurs indicatives, seule la norme fait foi)

(Valeurs indicatives, seule la norme fait foi)

## Luminaire en applique « lumière douce »



La lumière douce représente un type de luminaire moderne. Ils sont généralement fixés au plafond et dirigent la lumière dans toute la largeur de la pièce grâce à de grands réflecteurs de forme spéciale. Ils constituent le perfectionnement des vasques opales en matière de technique d'éclairage. Ce type de luminaire remplit, en cas de planification optimale, les exigences de Minergie.

### Formes

- Luminaires encastrés, appliqués et suspensions
- Formes carrées ou allongées
- Généralement 1 à 2 tubes par luminaire
- Réflecteurs en aluminium mat ou blanc
- Caches des lampes avec lamelles ou tôles perforées

### Avantages

- Bonne protection contre l'éblouissement
- Bon éclairage d'intérieur (pas d'effet caverne)
- Très bonne efficacité lumineuse selon le type

### Inconvénients

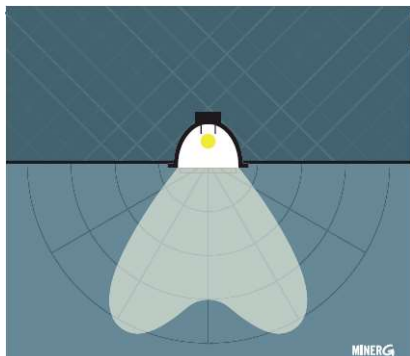
- Conception spéciale offrant parfois un aspect imposant
- Construction de luminaire exigeante, peu appropriée aux exécutions spéciales
- Moins bonne efficacité lumineuse selon le type et accumulation de poussière à l'intérieur

Indice du local	k = 1,5		k = 3,0	
Facteur de réflexion	clair	sombre	clair	sombre
Rendement lumineux*	50 %	38 %	60 %	47 %
Puissance spécifique (500 Lux)	13,5 W/m <sup>2</sup>	18 W/m <sup>2</sup>	11 W/m <sup>2</sup>	14,5 W/m <sup>2</sup>
Valeur limite SIA 380/4	15 W/m <sup>2</sup>		12,5 W/m <sup>2</sup>	
Valeur cible SIA 380/4	11 W/m <sup>2</sup>		9 W/m <sup>2</sup>	
Minergie, selon le type de régulation	9 à 13,5 W/m <sup>2</sup>		7,5 à 11,5 W/m <sup>2</sup>	

\*Calcul avec le facteur de planification usuel de 1,25

(Valeurs indicatives, seule la norme fait foi)

## Luminaire en applique « grille à miroir »



Les luminaires à grille à miroir sont très efficaces grâce à leur effet de projecteur et sont, pour ainsi dire, la réponse à l'inefficacité des vasques opales des années 60. Ce type de luminaire remplit, en cas de planification optimale, les exigences de Minergie.

### Formes

- Luminaires appliqués ou encastrés
- Allongées ou carrées (60 cm à 150 cm)
- 1 à 3 tubes par luminaire
- Réflecteur miroité (aluminium mat ou blanc)
- Divers systèmes de grilles (lamelles miroitées, aluminium mat ou blanc)

### Avantages

- Facteur d'utilisation du local très élevé (90 à 100 %)
- Bonnes possibilités de protection contre l'éblouissement grâce au système de grille
- Bonne efficacité même dans les pièces sombres

### Inconvénients

- Lumière dirigée vers l'espace de travail, plafond sombre (effet caverne)
- Les luminaires sont à peine perceptibles (on oublie souvent de les éteindre).
- Risque d'éblouissement en cas de système de grille simple ou inexistant

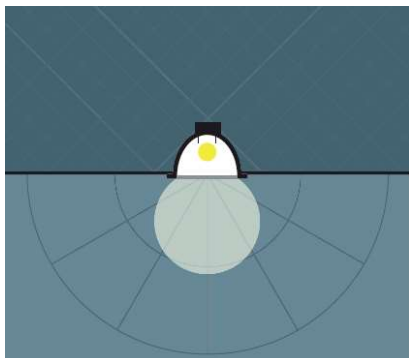
Indice du local	k = 1,5		k = 3,0	
	clair	sombre	clair	sombre
Rendement lumineux*	72 %	65 %	79 %	72 %
Puissance spécifique (500 Lux)	11 W/m <sup>2</sup>	12 W/m <sup>2</sup>	10 W/m <sup>2</sup>	11 W/m <sup>2</sup>
Valeur limite SIA 380/4	15 W/m <sup>2</sup>		12,5 W/m <sup>2</sup>	
Valeur cible SIA 380/4	11 W/m <sup>2</sup>		9 W/m <sup>2</sup>	
Minergie, selon le type de régulation	9 à 13,5 W/m <sup>2</sup>		7,5 à 11,5 W/m <sup>2</sup>	

\*Calcul avec le facteur de planification usuel de 1,25

(Valeurs indicatives, seule la norme fait foi)



## Luminaire encastré «cache opale»



La variante encastrée de la vasque opale est un dispositif qui réduit la lumière. Jusqu'à 80 % de la lumière émise par une lampe encastrée reste inutilisée. Ce luminaire ne respecte ni la valeur limite de la norme SIA 380/4 ni les exigences de Minergie.

### Formes

- Montage mural ou au plafond
- Formes allongées, carrées et rondes
- 1 à 4 tubes par luminaire ou lampes fluorescentes compactes
- Matériaux avec différentes translucidités
- Les caches de structure prismatique ont une efficacité supérieure

### Avantages

- Rectangle éclairant utilisé comme objet de décoration
- Bonne protection contre l'éblouissement

### Inconvénients

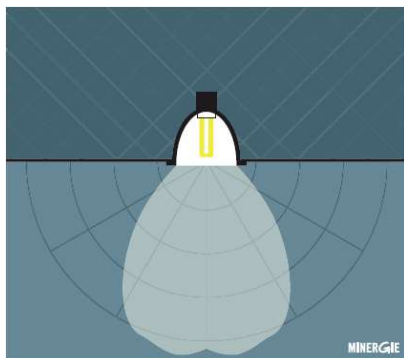
- Très mauvaise efficacité lumineuse
- Plafond sombre (effet caverne)
- Important dégagement de chaleur du fait d'une puissance installée nécessaire élevée
- Installation et entretien coûteux (grand nombre d'unités de lampes)

Indice du local	k = 1,5		k = 3,0	
	clair	sombre	clair	sombre
Facteur de réflexion				
Rendement lumineux	26 %	22 %	31 %	27 %
Puissance spécifique (500 Lux)	26 W/m <sup>2</sup>	30 W/m <sup>2</sup>	22 W/m <sup>2</sup>	25 W/m <sup>2</sup>
Valeur limite SIA 380/4	15 W/m <sup>2</sup>		12,5 W/m <sup>2</sup>	
Valeur cible SIA 380/4	11 W/m <sup>2</sup>		9 W/m <sup>2</sup>	
Minergie, selon le type de régulation	9 à 13,5 W/m <sup>2</sup>		7,5 à 11,5 W/m <sup>2</sup>	

Valeurs indicatives, seule la norme fait foi)



## Plafonnier ouvert



Les plafonniers sont l'équivalent des luminaires à grille à miroir pour les zones de circulation. Grâce à la lumière fortement dirigée, son efficacité énergétique dépend peu de la clarté de la pièce. Ce type de luminaire remplit, en cas de planification optimale, les exigences de Minergie.

## Formes

- Luminaires appliqués et encastrés
- Différents types de lampes: lampes fluorescentes compactes,
- Lampes à décharge, lampes à incandescence, lampes halogènes
- Angle de réflexion de 10 degrés à 90 degrés, flux lumineux de 500 lumens à 15 000 lumens
- Existe également avec caches destinés à limiter l'éblouissement

## Avantages

- Facteur d'utilisation du local très élevé (90 à 100 %)
- Bonne efficacité même dans les pièces sombres
- Vaste gamme de produits

## Inconvénients

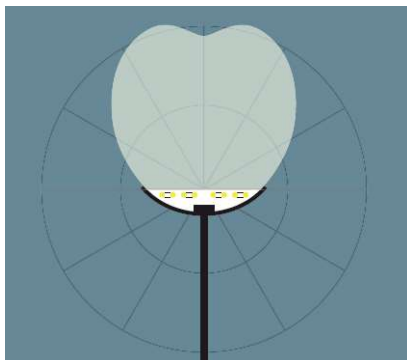
- Lumière dirigée vers le sol, plafond sombre (effet caverne)
- Les luminaires sont à peine perceptibles (on oublie souvent de les éteindre).
- Risque d'éblouissement en cas de plafonnier à diffusion en largeur sans auvent d'éclairage

\*Calcul avec le facteur de planification usuel de 1,25

Indice du local	k = 1,5		k = 3,0	
Facteur de réflexion	clair	sombre	clair	sombre
Rendement lumineux*	70 %	64 %	75 %	69 %
Puissance spécifique (500 Lux)	3,6 W/m <sup>2</sup>	3,9 W/m <sup>2</sup>	3,3 W/m <sup>2</sup>	3,6 W/m <sup>2</sup>
Valeur limite SIA 380/4	4,5 W/m <sup>2</sup>		4,0 W/m <sup>2</sup>	
Valeur cible SIA 380/4	3,5 W/m <sup>2</sup>		3,0 W/m <sup>2</sup>	
Minergie, selon le type de régulation	3 à 4 W/m <sup>2</sup>		2,5 à 3,5 W/m <sup>2</sup>	

(Valeurs indicatives, seule la norme fait foi)

## Lampadaire indirect



Les lampadaires sont très en vogue en Suisse, contrairement aux pays voisins. Son principal avantage est sa grande souplesse de manipulation par rapport à l'aménagement intérieur. Il ne satisfait pas aux exigences de Minergie; la valeur limite de SIA 380/4 peut être respectée en cas de planification optimale.

### Formes

- Types classiques avec 4 lampes fluorescentes compactes de 55 W, variantes 4 x 36 W
- Disponibles avec régulateur de lumière intégré (présence et lumière du jour)
- Vaste gamme de produits en Suisse

### Avantages

- Possibilités d'utilisation flexibles dans les bureaux modernes
- Bonne protection contre l'éblouissement en raison de la lumière directe tombante
- Pas d'installations fixes

### Inconvénients

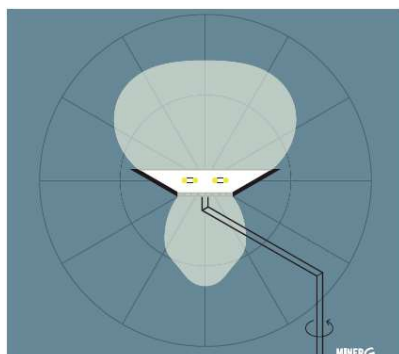
- Grandes différences de luminance au plafond (points lumineux)
- Le luminaire est un meuble de plus dans la pièce, cordon d'alimentation au sol
- Faible efficacité énergétique

Indice du local	k = 1,5		k = 3,0	
Facteur de réflexion	clair	sombre	clair	sombre
Rendement lumineux*	37 %	14 %	45 %	18 %
Puissance spécifique (500 Lux)	15 W/m <sup>2</sup>	44 W/m <sup>2</sup>	12,5 W/m <sup>2</sup>	35 W/m <sup>2</sup>
Valeur limite SIA 380/4	15 W/m <sup>2</sup>		12,5 W/m <sup>2</sup>	
Valeur cible SIA 380/4	11 W/m <sup>2</sup>		9 W/m <sup>2</sup>	
Minergie, selon le type de régulation	9 à 13,5 W/m <sup>2</sup>		7,5 à 11,5 W/m <sup>2</sup>	

\*Calcul avec le facteur de planification usuel de 1,25

(Valeurs indicatives, seule la norme fait foi)

## Lampadaire direct/indirect



Les lampadaires traditionnels émettent une grande partie de leur lumière vers le plafond lumière majoritairement indirecte. Avec la variante directe-indirecte du lampadaire, l'efficacité énergétique est nettement supérieure mais les exigences de construction concernant la protection contre l'éblouissement sont bien plus grandes. Ce type de luminaire remplit, en cas de planification optimale, les exigences de Minergie.

L'OBA impose ce type d'éclairage pour les postes de travail administratif

### Formes

- Généralement avec 2 lampes compactes de 55 W
- Occultation de la lumière directe avec tôle perforée ou lamelles
- Disponible avec régulateur de lumière intégré (présence et lumière du jour)

### Avantages

- Possibilités d'utilisation flexibles dans les bureaux modernes
- Faible puissance spécifique grâce à l'orientation vers le poste de travail et à la lumière directe
- Pas d'installations fixes

### Inconvénients

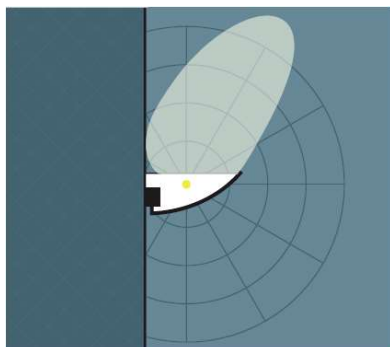
- Choix actuellement limité
- Le luminaire est un meuble de plus dans la pièce, cordon d'alimentation au sol
- Risque d'éblouissement en cas de système de grille simple

Indice du local	k = 1,5		k = 3,0	
Facteur de réflexion	clair	sombre	clair	sombre
Rendement lumineux*	54 %	35 %	60 %	36 %
Puissance spécifique (500 Lux)	11,5 W/m <sup>2</sup>	18 W/m <sup>2</sup>	10,5 W/m <sup>2</sup>	17 W/m <sup>2</sup>
Valeur limite SIA 380/4	15 W/m <sup>2</sup>		12,5 W/m <sup>2</sup>	
Valeur cible SIA 380/4	11 W/m <sup>2</sup>		9 W/m <sup>2</sup>	
Minergie, selon le type de régulation	9 à 13,5 W/m <sup>2</sup>		7,5 à 11,5 W/m <sup>2</sup>	

\*Calcul avec le facteur de planification usuel de 1,25

(Valeurs indicatives, seule la norme fait foi)

## Applique indirecte



L'applique est l'alternative indirecte aux plafonniers dans les zones de circulation. Le problème de l'éblouissement est résolu grâce à la lumière indirecte. Néanmoins, la puissance doit être accrue jusqu'à 5 fois suivant la clarté du mur. Ce luminaire ne satisfait pas aux exigences de Minergie. La valeur limite de SIA 380/4 peut être respectée en cas de planification optimale.

## Formes

- Différents types de lampes: lampes fluorescentes compactes, lampes à décharge, lampes halogènes
- Types à émission indirecte ou directe/indirecte

## Avantages

- Pas de problème d'éblouissement
- Bon effet spatial même dans les pièces hautes

## Inconvénients

- Points lumineux au plafond (grande différence de luminance)
- Très mauvaise efficacité énergétique dans les pièces sombres

Indice du local	k = 1,5		k = 3,0	
Facteur de réflexion	clair	sombre		
Rendement lumineux*	38 %	15 %		
Puissance spécifique (500 Lux)	4,5 W/m <sup>2</sup>	16 W/m <sup>2</sup>		
Valeur limite SIA 380/4	4,5 W/m <sup>2</sup>			
Valeur cible SIA 380/4	3,5 W/m <sup>2</sup>			
Minergie, selon le type de régulation	3 à 4 W/m <sup>2</sup>			

\*Calcul avec le facteur de planification usuel de 1,25\$

(Valeurs indicatives, seule la norme fait foi)

### 1.9.3 INDICE DE PROTECTION DES LUMINAIRES

Indice IP – 1 <sup>er</sup> chiffre	DESCRIPTION (corps solides et poussières)	Indice IP – 2 <sup>ème</sup> chiffre	DESCRIPTION (humidité – eau)
<b>2</b>	Protection contre les corps solides > 12mm	<b>2</b>	Protection contre les chutes d'eau jusqu'à 15° de la verticale
<b>3</b>	Protection contre les corps solides > 2,5mm	<b>3</b>	Protection contre les chutes d'eau jusqu'à 60° de la verticale
<b>4</b>	Protection contre les corps solides > 1mm	<b>4</b>	Protection contre les projections d'eau de toutes directions
<b>5</b>	Protection contre les poussières	<b>5</b>	Protection contre les projections d'eau de toutes directions, à la lance
<b>6</b>	Protection totale contre les poussières	<b>6</b>	Protection contre les projections d'eau de toutes directions, à la lance, avec une puissance assimilable aux paquets de mer
		<b>7</b>	Protection contre les effets de l'immersion
		<b>8</b>	Protection contre les effets prolongés de l'immersion sous pression (profondeur spécifiée)

#### Rendement des divers luminaires

Classes	Faisceau	Eclairage Direct	Exemple
A10-A32	Large	100%	plafonnier
A40-A44	Moyen	100%	plafonnier
A50-A80	Etroit	100%	plafonnier
B21-B22	Large	75%	luminaire suspendu
B31-B33	Normal	75%	luminaire suspendu
B41-B63	Etroit	75%	luminaire suspendu
C11-C33	Large	50%	luminaire suspendu
C42-C63	Moyen à étroit	50%	luminaire suspendu
D11-D63	Tous	20%	luminaire sur pied
E02-E73	Très large	0%	luminaire indirect

### 1.9.4 LES CODES FLUX A SIX CHIFFRES

La signification du code photométrique est décodée dans l'exemple suivant, **840/359** :

- Code **8** – valeur initiale IRC de 84.
- Code **40** – valeur initiale de température de couleur, en l'occurrence 4'000 K.
- Code **3** – répartition initiale des coordonnées chromaticité dans une ellipse MacAdam.
- Code **5** – répartition initiale à maintenir des coordonnées de chromaticité dans une ellipse de MacAdam de niveau 5.
- Code **9** – flux lumineux atteignant encore 91% par exemple, après 25% de la durée de vie assignée.

Le code photométrique doit être noté sur l'emballage et la notice des luminaires.

### 1.9.5 BALLASTS

Sauf indication contraire dans les spécifications, il sera utilisé des ballasts électroniques de qualité et de première classe à démarrage à chaud. Les ballasts ne doivent être ni rivetés ni collés mais doivent être vissés! Pour toutes les sources lumineuses, les ballasts doivent être compris dans le prix.

Les ballasts électroniques doivent répondre aux critères électroniques suivants:

- Fréquence sonore, impédance conforme à CEI 82.
- Part d'harmoniques selon VDE 0712 / CEI 82.
- Valeurs limites d'harmoniques CEI 61000-3-2.
- Compatibilité CEM selon norme EN 61547.
- Déparasitage selon norme EN 55015.
- Déparasitage selon l'Ordonnance CISPR, VDE 0875 (cl. B) et AS 1980 (ASE 1014, 1973).
- Conformité EIB ou DALI.
- Fonctionnement des ballasts pour LED selon norme EN 62384.
- Sécurité des ballasts pour LED selon norme EN 61347-2-13.

### 1.9.6 LES LUMINAIRES LED

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) a publié deux documents : « spécifications mises à disposition du public » d'exigences de performance:

- IEC/PAS 62717 Exigences de performances – Modules de LED pour l'éclairage général
- IEC/PAS 62722 Exigences de performances – Luminaires LED pour l'éclairage général

Les deux documents IEC/PAS d'exigences de performance donnent:

- la définition d'un ensemble de critères de qualité relatifs aux spécifications initiales d'un produit;
- une description normalisée sur la façon de mesurer ces critères de qualité.

Ces documents ont donné lieu à ce que l'on appelle les normes CELMA dont l'objectif est d'autoriser une comparaison objective des performances des luminaires LED.

Les documents IEC/PAS suggèrent la liste suivante des critères de qualité à considérer lors de l'évaluation des déclarations des fabricants:

- a) Puissance d'entrée nominale
- b) Flux lumineux nominal
- c) Efficacité du luminaire LED
- d) Distribution des intensités lumineuses
- e) Code photométrique
- f) Température de Couleur Proximale (TCP)
- g) Indice de rendu des couleurs nominal (IRC)
- h) Coordonnées de chromaticité CIE, à la fois initiales et à maintenir (binning MacAdam)
- i) Code du facteur de maintenance du flux lumineux
- j) Durée de vie assignée (en heures) du module LED et le facteur de maintenance du flux lumineux nominal associé (Lx)
- k) Taux de mortalité (Fy) correspondante à la durée de vie assignée du module LED dans le luminaire
- l) Température ambiante (tq) pour un luminaire.

L'économie d'énergie effective d'une installation d'éclairage à LED ne dépend pas que du rendement lumineux des diodes utilisées. Ce qui est déterminant, c'est bien plus :

- l'interaction avec les optiques et appareils d'exploitation
- la courbe photométrique du luminaire
- les conditions ambiantes qui pourront faire l'objet d'une modélisation 3D si nécessaire.

Il faut faire une nette distinction, pour les LED, entre le flux lumineux de la LED et le flux lumineux effectivement utilisable d'un luminaire LED. C'est pourquoi les techniciens de la lumière, à propos de l'éclairage LED, parlent plutôt du flux lumineux de luminaire et non du flux lumineux de lampe.



### Commande LED parallèle

Pour la technique LED, le nombre de luminaires par appareil d'exploitation dépend de la puissance totale. Ils sont généralement alimentés en 10, 12 ou 24V. Les luminaires commandés en tension sont montés en parallèle. Ces luminaires sont essentiellement utilisés dans le domaine décoratif.

Il faut observer les indications du fabricant concernant l'intensité maximale du disjoncteur amont et les longueurs maximales des lignes par rapport à la section du conducteur.

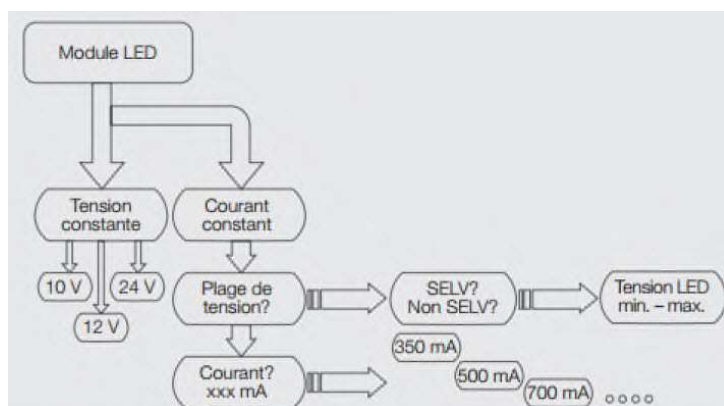
### Commande LED série

Le nombre de LED commandées en courant par appareil d'exploitation dépend de la puissance et de la tension mis à disposition par cet appareil. L'efficacité est plus élevée que celle des LED commandées en tension. Elles sont généralement alimentées en courant constant de 350mA, 500mA ou 700mA etc. Ces luminaires sont montés en série. Il faut observer les indications du fabricant en matière de tension de sortie pour assurer la sécurité des personnes. Selon le convertisseur, des tensions supérieures à la limite SELV de 50V peuvent apparaître. Les longueurs maximales de lignes sont plus élevées.

### Pointe de courant

Comportement de mise sous tension de l'ECG (ballast entièrement électronique) Les ECG et les composants de commutation provoquent une pointe de courant au moment de la mise sous tension. Celle-ci est due aux condensateurs utilisés pour les ballasts électroniques après l'étage redresseur à des fins de lissage et d'accumulation d'énergie. Au moment de l'enclenchement, en présence d'un condensateur entièrement déchargé, il peut se produire pendant les premières microsecondes un courant de charge analogue à un court-circuit.

L'exemple ci-dessous avec un ECG pour circuit convertisseur LED démontre la présence de pointes de courant dépassant 22A – mesurées en maximum de phase – et d'une demi-vie de 305  $\mu$ s. En utilisation normale, ce ballast n'absorbe que 220mA. Le courant d'appel est donc jusqu'à 100 fois supérieur au courant nominal. Si l'on regarde les fiches techniques de grands fabricants de ballasts, on constate que le courant de démarrage peut même atteindre 60A – alors que la puissance de la lampe n'atteint qu'à peine 100W. Généralement, dans la pratique, on enclenche des groupes de lampes complets simultanément. Par conséquent, l'effet des forts courants de démarrage est cumulé.



### A) LA NORME ZHAGA

Zhaga est un consortium dont l'ambition est globale et l'objectif est de standardiser et garantir l'interchangeabilité des moteurs de lumière (les sources) et l'ensemble des composants associés. Cela doit permettre de simplifier la conception et la fabrication des luminaires LED. Zhaga a créé et crée encore des spécifications d'interfaces appelées « livres » (books), qui définissent les conditions nécessaires pour parvenir à l'interchangeabilité. Chaque livre définit une source LED et/ou des composants associés du point de vue mécanique, photométrique, électrique ou encore thermique et contrôle les interfaces entre le produits et son environnement. Des composants basés sur un ou plusieurs livres Zhaga sont déjà disponibles dans le marché global de l'éclairage. Les membres de ce consortium partagent leur expertise technique d'une manière ouverte et coopérative. Pour plus d'information et une liste des membres Zhaga, il suffit de se rendre sur [www.zhagastandard.org](http://www.zhagastandard.org).

## B) CHECK LIST TRANSFO LED

- En intensité constante (mA), en tension constante (V)
- 1-10V, 0-10V, DALI
- Graduable, programmable, et si oui, logiciel fourni ou non, gratuit ou payant
- S'assurer que le transformateur ne provoque aucun papillotement, clairement visible avec un appareil photo digital (de téléphone portable par exemple)
- Dimensions
- Indice de protection
- MTBF
- Type : grille, bureau, avec bornier
- Types de prises
- Lieu d'installation, déporté ou non, mesures prises pour refroidissement espace et ventilation, court-circuit, mesures contre la pointe de courant (inrush current)
- Marge de sécurité d'au moins 20% par rapport à la charge maximale

## C) CHECK LIST ECLAIRAGE LED

Outre les critères de qualité IEC/PAS CELMA, penser aussi aux points suivants :

- Vérifier le groupe de risque photobiologique de G0 à G3. Par principe, se cantonner aux groupes G0 et G1
- Changement de la lampe ou changement de tout le luminaire
- Intensité constante (mA)/tension constante (V)
- Section de câble en fonction de la puissance installée et de l'éloignement des périphériques
- Câblage en série ou en parallèle
- Re-câblage ou non
- Qualité du système de refroidissement
- Montage en milieu confiné ou non
- Liste et compatibilité des périphériques
- Compatibilité des éléments de gestion existants (variation et domotique)
- Indice de protection de IP20 à IP68
- Indice de solidité jusqu'à IK10
- Aisance et rapidité d'installation
- Un angle de rayonnement adapté
- Type de LED (SMD, COB, LED de puissance)
- Marque de la LED (CREE, SAMSUNG, NICHIA, EPISTAR, LG...)
- Nombre d'année de garantie, usine ou fournisseur, périmètre et mise en œuvre

### Milieu confiné

Les LED émettent un flux lumineux sans beaucoup de chaleur, mais la face arrière de la diode génère quand même de la chaleur. Cette dernière doit être évacuée étant donné qu'une surchauffe est susceptible d'endommager les LED et de diminuer considérablement leur durée de vie.

L'AEAI doit être prise en compte.

La gestion thermique des LED est un élément essentiel pour les concepteurs et planificateurs d'éclairage



## 1.10 EXECUTION

Toutes les pièces destinées au montage sous crépis doivent être en matériau galvanisé ou matériau équivalent inoxydable et recevoir une couche de peinture de fond. Les pièces rouillées doivent être remplacées.

### 1.10.1 PREUVES DE FONCTIONNEMENT

Après la mise en service des installations, des tests intégrés (tests fonctionnels) seront exécutés séparément pour chaque étage et contrôlés par le planificateur mandaté. Après ces tests aura lieu la pré-réception et la suppression des défauts. Le respect des données de puissance spécifiées pour les divers dispositifs techniques du bâtiment doit être attesté dans des conditions d'exploitation réelles.

Le mandataire est tenu dans cette phase de créer un protocole de test effectué en sa présence. Il est tenu de le valider et s'engage sur les résultats obtenus en apposant sa signature.

Un relevé géographique sur plan des points de mesures effectuées en fin de travaux pour la validation du respect des normes est également de la responsabilité du mandataire.  
Ces mesures doivent apparaître dans le dossier de plans de révision.

### 1.10.2 MAINTENANCE / COÛTS DE FONCTIONNEMENT

Selon la norme EN 12464-1 :2002, il est recommandé d'étudier le projet d'éclairage avec un facteur de maintenance global calculé en fonction du matériel d'éclairage choisi, de l'environnement, de sa durée de vie et du programme de maintenance spécifié.

L'éclairement recommandé pour chaque tâche est donné comme un éclairement à maintenir. Le facteur de maintenance dépend des caractéristiques de maintenance de la lampe et de son ballast, du luminaire, de l'environnement et du programme de maintenance.

Le concepteur doit :

- établir le facteur de maintenance et lister toutes les hypothèses requises pour l'établissement de cette valeur,
- spécifier le matériel d'éclairage approprié à l'environnement,
- préparer un programme de maintenance complet comprenant la fréquence de remplacement des lampes, les intervalles de nettoyage des luminaires et des locaux et la méthode de nettoyage.
- Préparer le dossier pour les coûts de fonctionnement selon la phase SIA 4.6

### 1.10.3 MODIFICATION DE LA SITUATION DE LUMIERE PENDANT LE SERVICE

Au cours du service, la situation de lumière varie constamment dans un local:

#### **Baisse du flux lumineux de la source lumineuse**

Pendant le service, le flux lumineux d'une source lumineuse diminue par vieillissement. Cette baisse de flux lumineux est variable suivant la technologie de source lumineuse. Les fabricants mettent les données à disposition.

#### **Défaillance de sources lumineuses**

Toutes les sources lumineuses ont une durée de vie limitée. Les sources lumineuses défaillantes réduisent la quantité de lumière produite par l'installation d'éclairage. Suivant la situation du local, une source lumineuse défaillante n'est pas acceptable et doit être immédiatement remplacée. Dans d'autres cas, malgré des sources lumineuses défaillantes, il est possible de poursuivre la tâche visuelle.

### Salissure du réflecteur et des éléments optiques

La poussière et d'autres influences environnantes salissent les réflecteurs. Ce processus est encore accéléré par les températures légèrement plus élevées sur la surface du luminaire. Cela provoque des mouvements thermiques de l'air intensifiant le dépôt de poussière. La salissure empêche la sortie de lumière et réduit la quantité de lumière à disposition.

### Salissure des surfaces du local

Toute la lumière à disposition pour la tâche visuelle ne va pas directement du luminaire à l'objet vu. L'éclairage de cet objet est également assuré par de la lumière réfléchi par les parois du local, le plafond et le sol. La clarté des surfaces du local joue ici un rôle important. Dans le cas typique, la capacité de réflexion des surfaces diminue au cours du temps et il y a de moins en moins de lumière à disposition pour la tâche visuelle.

Tous ces facteurs font que la quantité de lumière à disposition à l'état neuf diminue avec le temps. Ces facteurs doivent donc être examinés avec les maîtres d'ouvrage avant la planification et introduits dans la planification afin de ne jamais tomber au-dessous de la valeur prescrite.

## 2. CFC 233.1 ECLAIRAGES POUR PLACES DE TRAVAIL

### 2.1 ASPECTS CONCEPTUELS

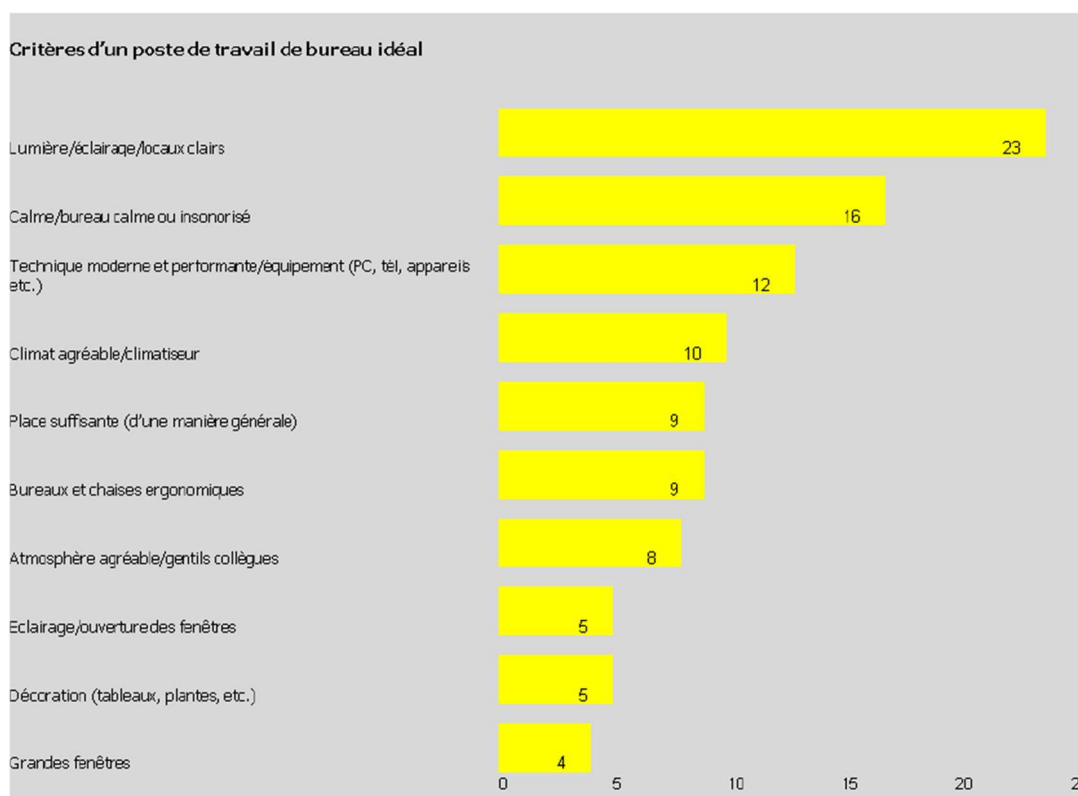
La qualité de la planification et de l'exécution de l'éclairage de la place de travail est déterminante pour la qualité de l'éclairage artificiel que l'on décrit par les critères suivants :

- Niveau d'éclairage pour la clarté
- Limitation d'éblouissement pour une vue non troublée par un éblouissement direct ou réfléchi
- Répartition harmonieuse de la clarté pour une relation équilibrée des luminances
- Couleur de lumière pour l'aspect des lampes
- Rendu des couleurs pour la reconnaissance parfaite et la distinction des couleurs et l'ambiance du local
- Direction de lumière
- Ombres pour reconnaître les objets et les structures de surfaces.

Suivant l'utilisation et l'aspect d'un local, les critères de qualité peuvent être pondérés différemment. C'est ainsi que:

- **La performance visuelle** est influencée par le niveau d'éclairage et la limitation d'éblouissement
- **Le confort de vision** par le rendu des couleurs et la répartition harmonieuse de clarté
- **L'ambiance visuelle** par la couleur de lumière, la direction de la lumière et les ombres. Pour bien distinguer les objets, les surfaces et les structures, il faut de la lumière et des ombres.

## Critères d'un poste de travail de bureau idéal



La direction de la lumière et les ombres sont co-déterminantes pour l'ambiance visuelle. Une bonne relation entre la lumière diffuse et la lumière dirigée, donne une part d'ombre agréable.

Une perception correcte des couleurs même en éclairage artificiel est un des objectifs importants d'un éclairage bien fait. L'impression de couleur est déterminée par l'interaction entre la couleur des objets observés, donc leurs taux de réflexion spectrale, et la composition spectrale de la lumière.

### Article 15, OLT3

1. Tous les locaux, postes de travail et passages à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments doivent avoir un éclairage naturel ou artificiel suffisant, adapté à leur utilisation.
2. Les locaux de travail doivent être éclairés naturellement et être dotés d'un éclairage artificiel garantissant des conditions de visibilité (uniformité, éblouissement, couleur de la lumière, spectre de couleurs) adaptées à la nature et aux exigences du travail.
3. Les locaux sans éclairage naturel ne peuvent être utilisés comme locaux de travail que si des mesures de construction ou d'organisation particulières assurent, dans l'ensemble, le respect des exigences en matière d'hygiène (par exemple, une solution assurant le cycle circadien de la lumière afin de recréer un éclairage naturel).

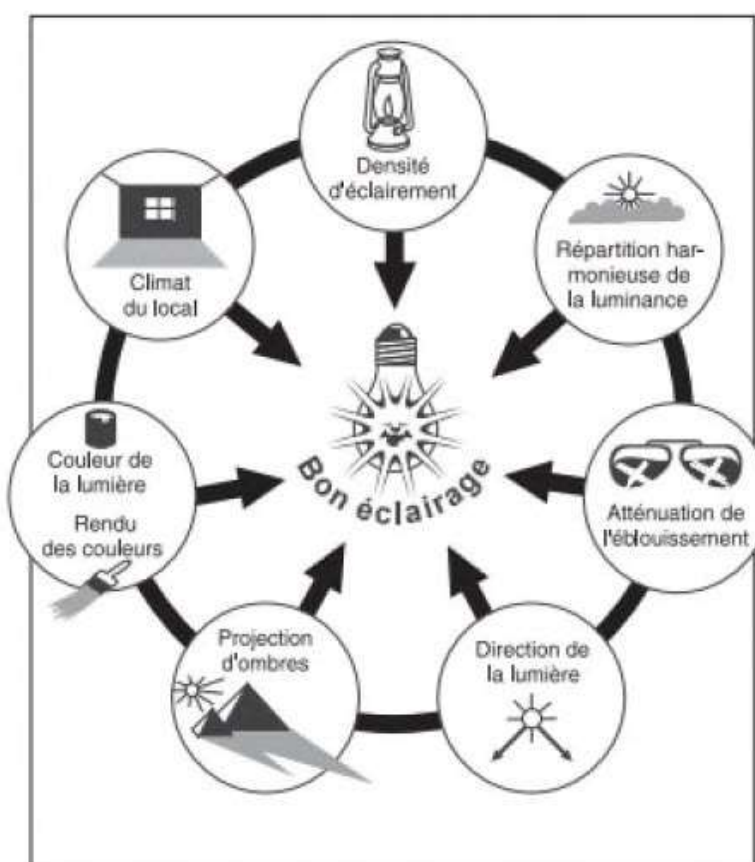
## 2.2 NORME DE BASE SN EN 12464-1

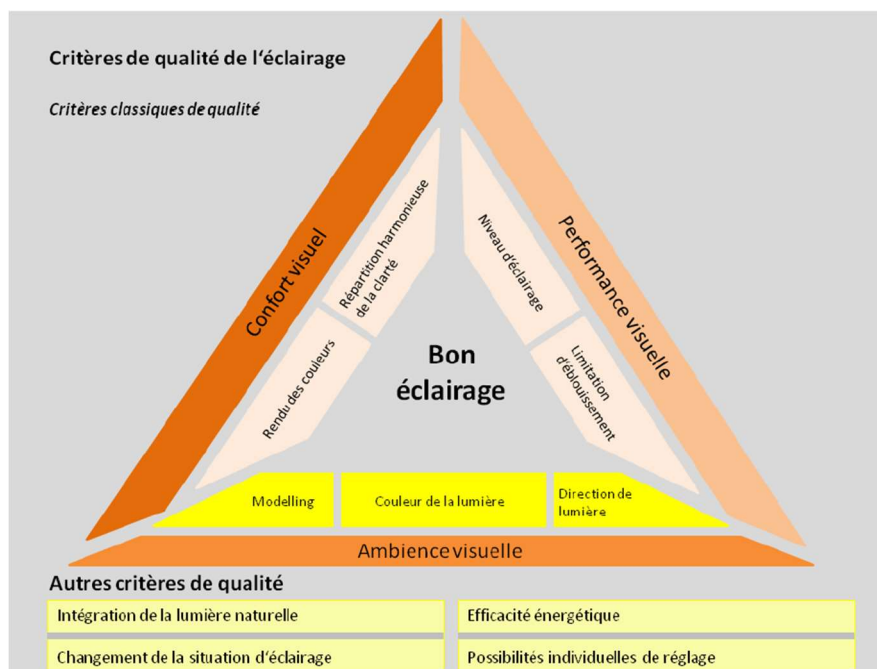
La norme EN 12464 fait foi pour les aspects d'éclairagisme. La norme SN EN 12464-1 «Lumière et éclairage – Eclairage des lieux de travail – Partie 1: Lieux de travail intérieurs » constitue la norme principale de base pour les applications lumineuses.

Cette norme décrit principalement les critères de la planification d'éclairage au moyen du confort visuel, de la performance visuelle et de la sécurité. L'éclairement lumineux, l'uniformité, la différence entre tâches visuelles directes et environnement, la luminance et les rapports de contraste etc. sont également décrits. L'éblouissement et les moyens d'éviter l'éblouissement physiologique et psychologique constituent des thèmes centraux.

**L'éclairement moyen pour chaque tâche ne doit pas descendre en dessous de la valeur donnée à l'article 5, quels que soient l'âge et l'état de l'installation.**

### Les facteurs d'un bon éclairage





**Au plan concret, les facteurs déterminants pour une planification d'éclairage sont les suivants :**

- Surface du local en m2
- Hauteur du local en m
- Surface de la place de travail en m2
- Hauteur de la place de travail en m
- Éclairage naturel valeur moyenne en Lux ou Lm/m2
- Couleur du revêtement de sol en %
- Couleur du revêtement des murs en %
- Couleur du revêtement du plafond en %
- Choix du flux lumineux du luminaire exprimé en lumen
- Classe du luminaire
- Présence d'un ordinateur - angle UGR
- Type de travail degré Kelvin
- Loi sur le travail, art.15

### 2.2.1 ECLAIRAGE EN FONCTION DU LOCAL

Un éclairage réalisé en fonction du local offre un éclairage uniforme dans tout le local. Il est envisageable que lorsque le type d'utilisation du local doit rester flexible. Ce concept d'éclairage est généralement réalisé au moyen de luminaires suspendus à rayonnement direct/indirect ou de luminaires à grande surface dans ou sous le plafond.

### 2.2.2 ECLAIRAGE EN FONCTION DU POSTE DE TRAVAIL

Un deuxième concept d'éclairage est axé sur le poste de travail. C'est la norme qui fixe les minima d'éclairement en lux en fonction des types d'utilisation du local. Les zones de travail de bureaux standard, par exemple, sont éclairées à au moins 500 lux. Le reste du local est éclairé à au moins 300 lux, à l'exception d'une zone marginale de 0,5 mètre.

Un éclairage en fonction du poste de travail est intéressant lorsque les postes de travail du local présentent des tâches visuelles différentes qui nécessitent ainsi des éclairements individuels. D'après ce concept, il est également possible de bien séparer différents îlots de travail.

Le poste de travail peut être éclairé au moyen de luminaires muraux, suspendus ou sur pied à rayonnement direct avec répartition directe/indirecte de la lumière.

N° réf.	Type d'intérieur, tâche ou activité	$E_m$	$UGR_L$	$R_a$
3.1	Classement, transcription	300	19	80
3.2	Écriture, dactylographie, lecture, traitement de données	500	19	80
3.3	Dessin industriel	750	16	80
3.4	Postes de travail de conception assistée par ordinateur	500	19	80
3.5	Salles de conférence et de réunions	500	19	80
3.6	Réception	300	22	80
3.7	Archives	200	25	80

(Valeurs

indicatives, seule la norme fait foi)

$E_m$  : Niveau d'éclairement moyen à maintenir en lux  
 $UGR_L$  : Taux d'éblouissement d'inconfort limite  
 $R_a$  : Indice de rendu des couleurs des lampes

L'éclairage en fonction du poste de travail est la solution retenue et déployée par l'OBA. Cette mise en œuvre ne nécessite plus d'installation lourde et fixe. Cependant, l'OBA garde le devoir de mettre à disposition un éclairage correct par local. C'est pourquoi le budget d'éclairage par lampadaire pour les postes de travail doit être conservé dans le budget du projet.

Dans les cas standards (à titre purement indicatif) :

- 1 poste de travail = 1 lampe sur pied
- 2 postes de travail = 1 lampe sur pied
- 3 postes de travail = 2 lampes sur pied
- 4 postes de travail = 2 lampes sur pied

La position et le type de luminaire doivent faire l'objet d'une étude. En fonction des locaux, on cherchera à optimiser le nombre de luminaires tout en garantissant les niveaux d'éclairement requis.

Dans le cas où un local dispose d'une grande profondeur, le mandataire devra également éclairer correctement les cheminements ainsi que les petites tables de réunion. Il est préférable d'harmoniser la technologie (ici luminaire sur pied) au sein d'un même local. Si le mandataire juge qu'une solution plus économique est possible, il est en devoir d'en informer l'OBA.

Pour les deux cas spécifiques, il est judicieux de disposer de lampadaires travaillant en effet de zone avec transmission d'état entre luminaires, afin de permettre un cheminement confortable.

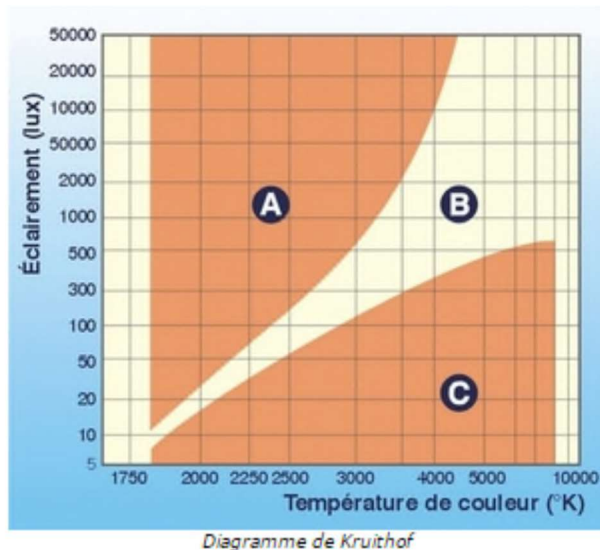
#### Eclairage en fonction de surfaces partielles

Pour les tâches visuelles difficiles, l'éclairage séparé de différentes surfaces du poste de travail est recommandé. Une surface partielle typique est, par exemple, la surface de travail sur le bureau qui peut être éclairée en supplément par des luminaires de table.

De manière générale, cet éclairage est optionnel et non pris en charge par l'OBA.

### 2.2.3 ZONE DE CONFORT

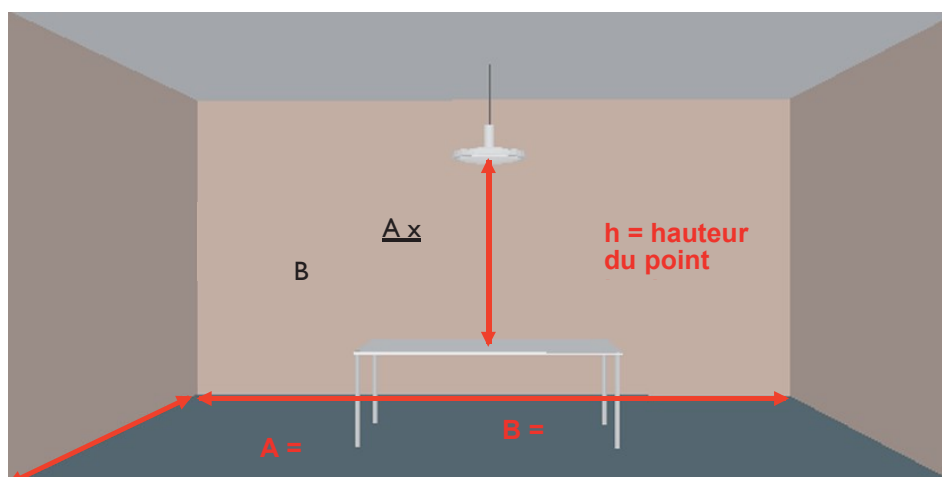
La couleur de la lumière doit être adaptée au niveau d'éclairement. Quand le niveau d'éclairement augmente, la température de couleur de la lumière doit également s'élever. Le diagramme de Kruithof donne à cet effet les valeurs recommandées de la température de couleur en fonction de l'éclairement. Seule la zone B correspond à la zone de confort.



Le planificateur pourra adapter la couleur de la lumière en fonction de la dimension de l'espace à éclairer et du type de tâche à accomplir.

La température de couleur standardisée de 4'000 K est à respecter, sauf pour les locaux à destination spéciale nécessitant la « lumière du jour »..

### 2.2.4 FACTEUR DE PLANIFICATION



Avec le facteur de planification, l'éclairement lumineux défini est augmenté pour compenser le vieillissement et la salissure de l'éclairage pendant sa durée de vie. La valeur 1,25 est établie comme valeur standard. Ce qui signifie qu'un éclairement lumineux de base (p. ex. 500 lux) est augmenté de 25% (à 625 lux) pour garantir que l'éclairage fournisse encore 500 lux après plusieurs années de fonctionnement. Il existe également des arguments pour des facteurs de planification plus élevés, de 1,5 par exemple, car la salissure et le vieillissement seraient en réalité plus élevés.

Pour les normes SIA 380/4 et Minergie, les calculs sont effectués avec un facteur de planification de 1,25.

L'OBA demande un facteur de calcul de 1,25. En d'autres termes, cela correspond à un facteur de maintenance de 0,8. Si cela est jugé pertinent et financièrement réaliste, il conviendra d'ajouter un système de gestion permettant d'éviter le suréclairage durant les premières années et ainsi réaliser de substantielles économies d'énergie.

## 2.2.5 FACTEUR DE REFLEXION

Rapport entre le flux lumineux réfléchi par une surface et le flux lumineux intercepté par cette surface. Le facteur de réflexion dépend de la distribution spectrale, de la polarisation et de la distribution géométrique de la lumière.

Pour l'approximation de la puissance électrique et des heures d'éclairage à plein charge on retiendra trois mix de réflexion standard :

Mix de luminosité			
Luminosité du local	Plafond	Murs	Sol
Locaux clairs	80 %	50 %	30 %
Locaux normaux	70 %	50 %	20 %
Locaux sombres	30 %	30 %	10 %

(Valeurs indicatives, seule la norme fait foi)

- Pour le facteur de réflexion, il faut tenir compte de l'ameublement, généralement plus sombre que les murs, dans le calcul. Le facteur de réflexion est d'environ 50% pour l'ameublement courant et les murs clairs.
- Les propriétés de réflexion du sol sont moins pertinentes pour l'éclairage lumineux utile.

Il est demandé au mandataire d'adapter les facteurs de réflexion à prendre en compte en rapport avec le projet.

## 2.2.6 UTILANCE

C'est le rapport du flux utile (reçu par le plan utile) au flux total sortant des luminaires.

Son symbole est  $U_i$

On détermine le facteur d'utilance en % à l'aide de tableaux comportant trois variables :

- la valeur de J (facteur de suspension)
- la valeur de K (facteur de planification).
- les facteurs de réflexion des parois.

L'utilance d'un local dépend du matériau des surfaces environnantes et de leur couleur.

Il ressort clairement ci-dessous que les propriétés de réflexion, qui sont décisives pour la luminosité dans le local, sont très fortement déterminées par les matériaux. Tandis qu'une couche de peinture blanc pur reflète plus de 80% de la lumière qui apparaît sur les murs ou le plafond, une couche rose ou bleu clair n'en reflètera que 50%. Pour les peintures sombres (p. ex. cramoisi) ou les murs en béton apparent, le facteur de réflexion descend à 20%. Le choix des matériaux et la coloration influencent très fortement la puissance installée nécessaire pour la lumière artificielle et les possibilités d'utilisation de la lumière du jour.

L'utilance d'un local dépend de deux autres facteurs: la taille du local (définie par l'indice du local) et la caractéristique de rayonnement des luminaires.

Dans les locaux sombres, des luminaires à rayonnement direct devraient être utilisés pour que l'éclairage soit relativement efficient. Dans un local plus clair, le choix des types de luminaires possibles est plus large.



Une combinaison de luminaires à rayonnement direct et indirect permet également d'obtenir un éclairage efficient.

### Facteur de réflexion des matériaux et peintures

Peinture	Matériau	Degré de réflexion
Blanc pur	Miroir, aluminium très brillant	supérieur à 80%
Blanc	Plâtre, aluminium éloxé	70 % à 80%
Jaune clair	Aluminium, chrome, cuivre poli, érable, bouleau	60 % à 70%
Blanc teinté	Panneaux de fibres de bois crème, nickel hautement poli	50 % à 60%
Gris clair, rose, vert clair, bleu clair	Calcaire, mortier clair, crépi calcaire, marbre poli	40 % à 50%
Gris moyen, rose, vert clair, bleu clair	Chêne clair, contreplaqué brut, grès	30 % à 40%
Brun	Ciment, béton brut, granite	20 % à 30%
Bleu foncé, vert foncé, rouge foncé, gris foncé	Chêne foncé poli, brique rouge, tapis sombre	10 % à 20%
Velours (noir)		env. 1 %

(Valeurs indicatives, seule la norme fait foi)

## 2.2.7 DEGRE D'EBLOUISSEMENT UGR

Rapport entre l'éblouissement direct par des luminaires et la luminosité générale de la pièce, respectivement l'intensité lumineuse en arrière-plan. Les valeurs UGR autorisées sont indiquées dans la norme EN 12464. La probabilité d'éblouissement est proportionnelle à la valeur UGR. Le procédé UGR (Unified Glare Rating, évaluation unifiée de l'éblouissement) a été développé par la Commission internationale de l'éclairage (CIE) pour rendre disponible dans le monde un système unifié d'évaluation de l'éblouissement. Contrairement au procédé Söller, qui évalue l'éblouissement par les luminaires seuls, la formule UGR est conçue pour évaluer l'éblouissement d'une installation d'éclairage. La valeur UGR est une valeur spécifique à un local, elle peut également servir de paramètre pour des luminaires si on prend pour base un local standard, à savoir une pièce de dimensions 12m/ 24m/ 3m (longueur, largeur, hauteur).

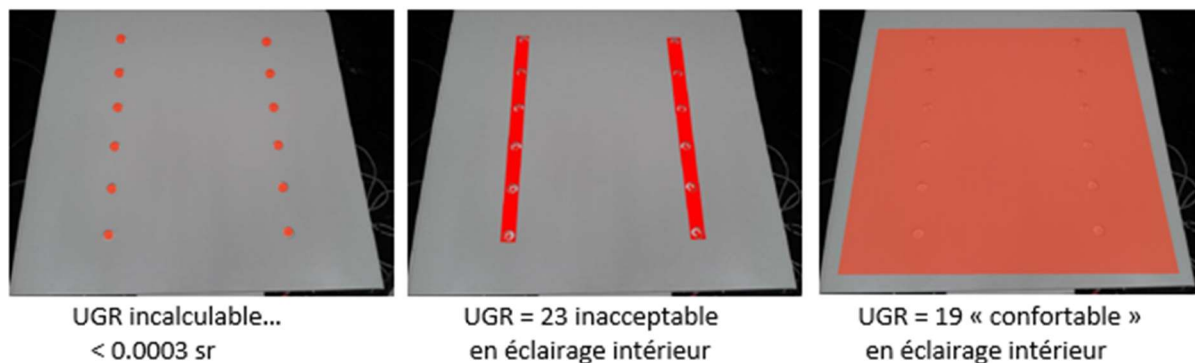
L'évaluation de l'éblouissement s'établit en 8 classes (UGR10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 31). Plus faible est la valeur UGR, plus faible est l'éblouissement et meilleur est le confort visuel.

<b>28</b>	Zone de circulation
<b>25</b>	Salle d'archives, escaliers, ascenseur
<b>22</b>	Espace d'accueil
<b>19</b>	Activités normales de bureau
<b>16</b>	Dessins techniques, postes de travail CAD

(Valeurs indicatives, seule la norme fait foi)

De manière générale, l'OBA demande un UGR inférieur à 22 et un UGR inférieur à 19 pour les zones de travail. Avec les nouvelles technologies, il est même recommandé un UGR inférieur à 16.

Indice d'éblouissement « UGR »  
Prise en compte de la taille réelle de la source



## 2.2.8 DIRECTION DE LA LUMIERE ET EFFET D'OMBRE

Pour faciliter la perception visuelle de surfaces et d'objets éclairés, pour créer l'impression de modelé, l'éclairage doit produire un effet d'ombre suffisant. La direction de la lumière artificielle doit correspondre à celle de la lumière du jour. L'aménagement des emplacements de travail doit être tel que la direction du regard soit parallèle aux fenêtres. Pour cette raison, les luminaires allongés, essentiellement des T5 ou LED doivent être disposés parallèlement aux fenêtres.

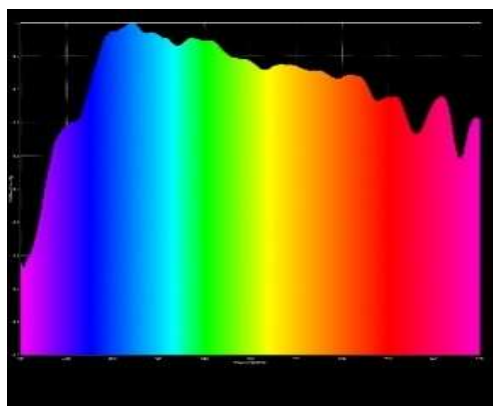
Pour certaines tâches visuelles comme le contrôle de surfaces, il est utile de disposer de sources de lumière dirigée créant des ombres nettes.

## 2.3 EFFETS BIOLOGIQUES DE LA LUMIERE

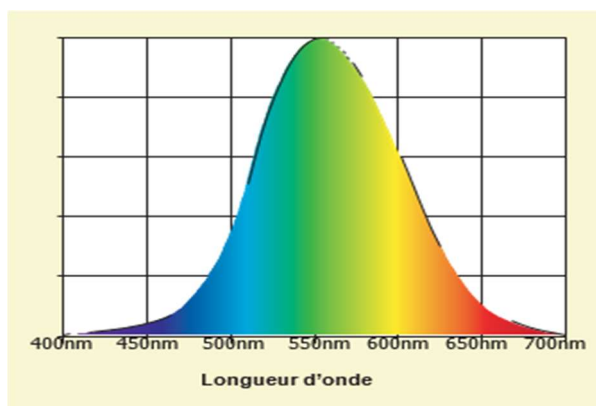
La chaîne des effets de la lumière suit des connexions nerveuses séparées allant de la rétine à l'hypophyse (organe de commande centrale des fonctions de l'organisme). C'est l'hypophyse qui influence le métabolisme et le système hormonal. Des fonctions de l'organisme aussi diverses que le système veille, le sommeil, la température corporelle, la production d'hormones, la fréquence cardiaque, les capacités cognitives, l'humeur, la mémoire sont régulés par le rythme circadien. Le rythme est surtout déterminé par la lumière du jour. La «bonne» lumière favorise par conséquent les capacités de concentration, améliore la motivation et empêche la fatigue prématurée. Cela accroît la productivité, même pour les activités qui dépendent peu ou pas du tout de la vision, comme par exemple la réflexion. Cet effet est essentiellement déclenché par la lumière qui pénètre latéralement dans l'œil. Par conséquent, dans les espaces de travail, il est important de bien éclairer les lieux de travail. Les éclairagements lumineux inférieurs à 500 lux ne sont pas suffisants pour les espaces de travail.

Les exigences en matière d'éclairage naturel et artificiel sont décrites en détail dans les directives de l'Union Suisse pour la Lumière (USL) concernant l'éclairage intérieur par la lumière artificielle. Ces directives tiennent compte des expériences réalisées et de l'état de la technique.

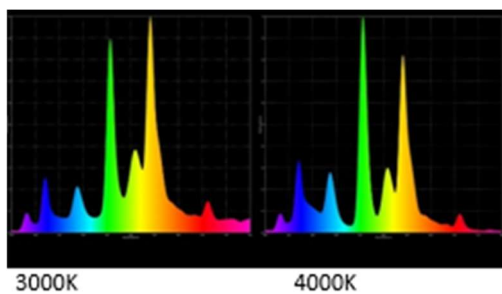
### 2.3.1 COURBES CHROMATIQUES



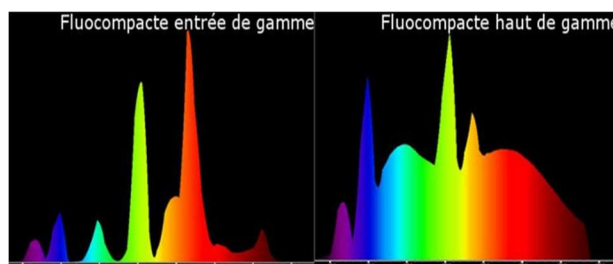
Courbe chromatique du soleil



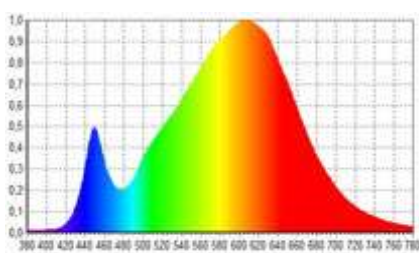
Courbe chromatique de la sensibilité de l'œil humain



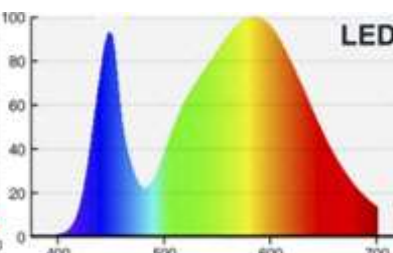
Courbes chromatiques des tubes fluorescents



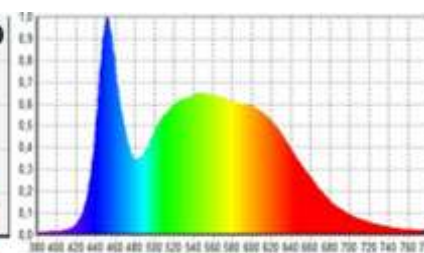
Courbes chromatiques de lampes fluo-compactes



LED blanc chaud 3000K



LED blanc neutre 4000K

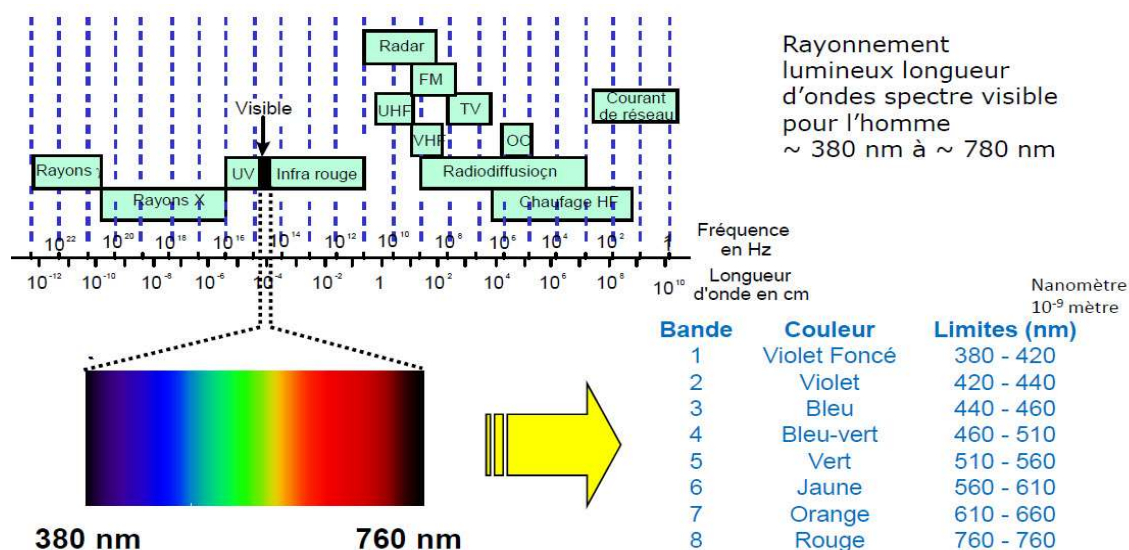


LED Lumière du jour

## 2.3.2 SÉCURITÉ PHOTOBIOLOGIQUE DES LAMPES ET DES APPAREILS UTILISANT DES LAMPES

NORME CEI 62471 :2006

Cette norme internationale fournit un guide pour l'évaluation de la sécurité photo biologique des lampes et des appareils utilisant des lampes. Spécifiquement, elle définit les limites d'exposition, les techniques de mesures de référence et le schéma de classification pour l'évaluation et le contrôle des risques photo biologiques d'une source de radiation optique, alimentée électriquement, dite incohérente, à spectre large, y compris les LED, à l'exclusion des lasers dans un domaine de longueur d'ondes de 200 nm à 3000 nm.



## 2.3.3 GROUPES DE RISQUES D'EXPOSITION A LA LUMIERE BLEUE

Les groupes de risques sont tirés du rapport technique CEI TR 62778 en application de la norme 62471 pour l'évaluation des risques causés spécifiquement par la composante de lumière bleue contenue dans les lampes et luminaires LED.

L'« algorithme » décidant dans quel groupe de risque seront placés une lampe ou un luminaire fonctionne comme suit :

- On mesure la radiance de la lumière bleue de la source à 200 mm avec un angle de rayonnement spécifique.
- On calcule le temps d'exposition nécessaire avant d'atteindre la valeur limite fixée par ICNIRP
- On attribue le luminaire à son groupe de risque.

**Le temps d'exposition permis dépend du type de danger**

		Limite Temps expo (s)		Limite Temps expo (s)		Limite Temps expo (s)	
Lumière Bleue	RG0	10 000	RG01	100	RG2	10	RG3

#### **G0 – Groupe sans risque. $T \geq 10'000$ sec.**

Ne présente aucun risque photobiologique.

Dans ce groupe, le temps d'exposition est illimité, quelles que soient les optiques, la distance de la lampe ou du luminaire et le nombre de sources, à condition que la luminance soit  $< 10'000$  cd/m<sup>2</sup>.

Entrent dans cette catégorie toutes les lampes non directives : les tubes LED avec couverture opalisée, les dalles LED, les ampoules LED et même les ampoules à « filaments » LED dans la mesure où leur couleur de lumière est fixée à 2'700 K. Selon leur conception, les spots LED entrent dans le groupe de risque 0 ou 1.

Selon la fiche d'information de l'Office Fédéral de l'énergie OFEN et l'Office Fédéral de la santé publique OFSP : en condition d'utilisation normale, les lampes à LED destinées au grand public ne présentent pas de risque pour la santé, y compris pour les populations sensibles, telles que les enfants et les personnes au cristallin très clair, sans cristallin ou ayant un cristallin artificiel.

<http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/03710/15953/index.html?lang=fr>

C'est pourquoi, l'OBA impose pour les postes de travail, ainsi que les zones d'exposition prolongée à la lumière artificielle, des luminaires du groupe de risque 0 ou 1.

Une attention particulière doit être apportée à ce point lors de l'établissement des appels d'offres. Un chapitre dédié aux groupes de risque doit figurer dans tous les appels d'offres lustrerie.

La présentation d'une certification par un organe externe du fournisseur et reconnu de manière nationale ou internationale est exigée. L'absence de cette certification pour les luminaires proposés pour les postes de travail, ainsi que les zones d'exposition prolongée, est éliminatoire.

De plus, lors du retour des offres, les fournisseurs doivent être en possession d'un échantillon du matériel proposé, car l'OBA se réserve le droit, lors de la phase d'évaluation des propositions, de comparer physiquement le matériel proposé par les trois meilleurs fournisseurs.

L'OBA se réserve également le droit d'effectuer des tests indépendants de la fourniture proposée. Dans le cas où la fourniture proposée n'est pas conforme à la norme et au cahier des charges imposé, cette fourniture ne sera pas retenue.

#### **Ces deux réserves prévalent sur tout autre critère d'adjudication.**

#### **G1 - Groupe de risque 1 (faible risque). $100 \text{ sec} \leq T < 10'000 \text{ sec}$**

Aucun risque photobiologique dans des conditions normales d'utilisation.

Dans ce groupe se trouvent les lampes et luminaires directifs comme certains spots sans protection opalisée qu'on veillera à réserver à de l'éclairage d'accentuation et dans des conditions où, lors d'utilisation normale, le regard n'est pas censé rencontrer les sources.

Selon l'OFEN et OFSP, les lampes à LED du groupe de risque 1 se prêtent également à un usage domestique, car elles ne présentent pas de danger pour les yeux tant que l'on n'observe pas la LED pendant longtemps : il s'agit en particulier des spots et de certaines lampes à poser.

#### **G2 - Groupe de risque 2 (risque modéré). $0.25 \text{ sec} \leq T < 100 \text{ sec}$**

Ne présente pas de risque lié à la réponse d'aversion pour les sources très brillantes ou en raison de l'inconfort thermique.

Dans ce groupe se trouvent les projecteurs LED, notamment à l'attention de l'éclairage des façades et autres projecteurs LED de grande puissance le plus souvent destinés à des utilisations industrielles. Ils seront placés à une hauteur suffisante pour atténuer la force de leur flux lumineux et installés de telle façon à ce que le regard ne les rencontre pas dans des conditions de travail normales.

Selon l'OFEN et OFSP, les lampes à LED des groupes 2 et 3 ne sont pas adaptées à un usage domestique, et à fortiori dans le cadre du travail. Fixer même brièvement ce type de lampes peut occasionner des lésions oculaires graves. La mention du groupe de risque figure sur l'emballage.

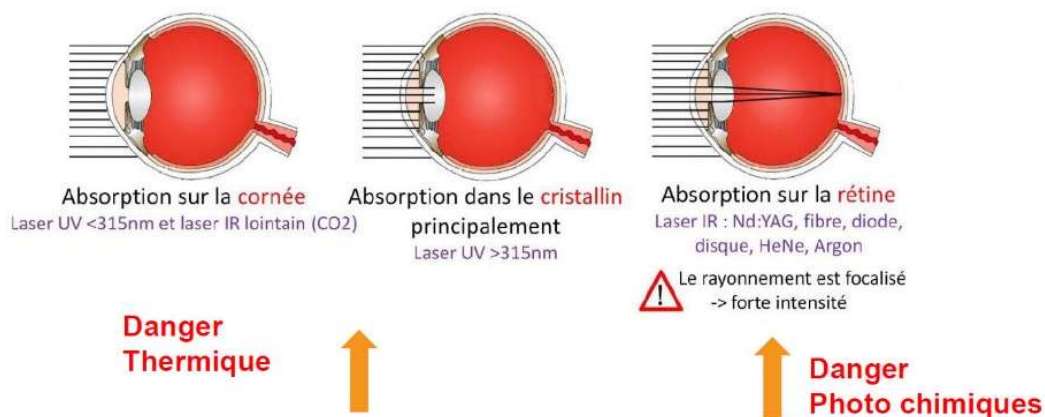
#### **G3 – Groupe de risque 3 (risque élevé). $T < 0.25 \text{ sec}$**

Risque potentiel même pour une exposition momentanée ou courte.

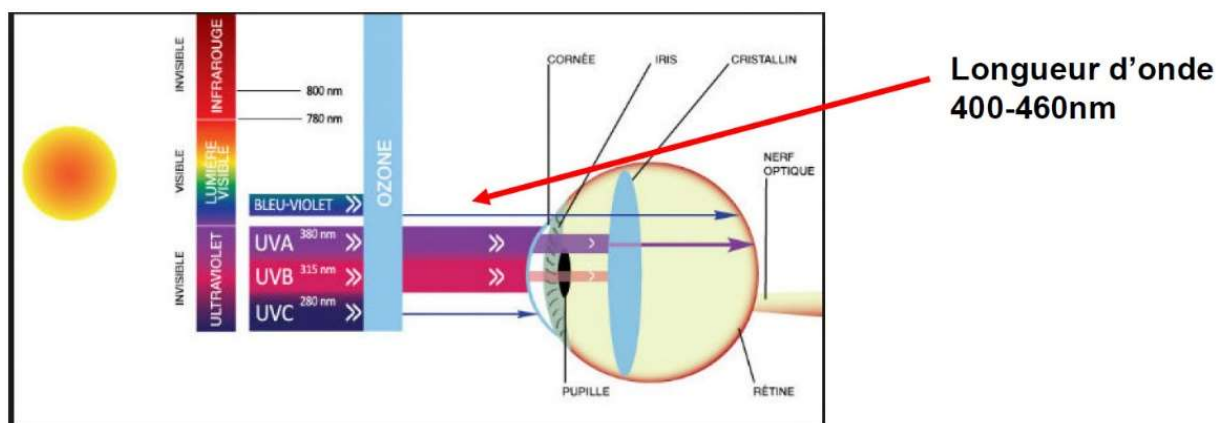
Attention à certains phares des voitures dont la concentration du flux lumineux peut être dommageable pour la rétine, même lors de brèves expositions.

De manière générale, l'OBA accepte exclusivement des luminaires du groupe de risque 0 ou 1.  
Pour d'autres groupes de risque, la pertinence d'une telle fourniture doit être apportée spécifiquement.

#### DANGERS THERMIQUES ET PHOTO CHIMIQUES POUR L'OEIL



#### RAYONNEMENTS OPTIQUES



Autres risques LED sur la santé :

- Risques électriques. Les principales familles de produits (LED à ballast intégré ou non, alimentations, modules et luminaires LED) sont chacune couverte par un standard CEI.
- Risques potentiels à l'exposition aux champs électromagnétiques (EMF). Les composants LED eux-mêmes n'émettent pas de quantité significative d'émissions électromagnétiques, les alimentations (composants HF et condensateurs) peuvent par contre être des sources intenses, d'où la grande importance de sélectionner des alimentations qui ne provoquent aucun scintillement et peu d'émissions électromagnétiques.

Beaucoup de ces risques ne sont pas spécifiques à l'éclairage LED.

Les lampes à décharge produisent, quant à elles, un niveau d'émissions électromagnétiques très élevé puisque leurs électrodes sont connectées à des sources à haut voltage.



## 2.3.4 LE PARADOXE DE LA LUMIERE BLEUE

Les recherches en ophtalmologie les plus récentes ont mis en évidence une mince bande de lumière bleue dont le pic, à 435 nanomètres, est particulièrement dommageable pour la rétine, provoquant potentiellement des lésions photochimiques. Deux types de dommages rétinien peuvent être observés suite à une exposition excessive à la lumière bleue, la mort de photorécepteurs (nécrose, apoptose) et des atteintes à l'épithélium pigmentaire rétinien (EPR).

Pourtant, la lumière bleue avec un pic à 480 nanomètres est aussi indispensable au réglage de notre horloge biologique. D'où l'importance dans la planification de faire la part des choses entre la « bonne » lumière bleue et la « mauvaise » lumière bleue.

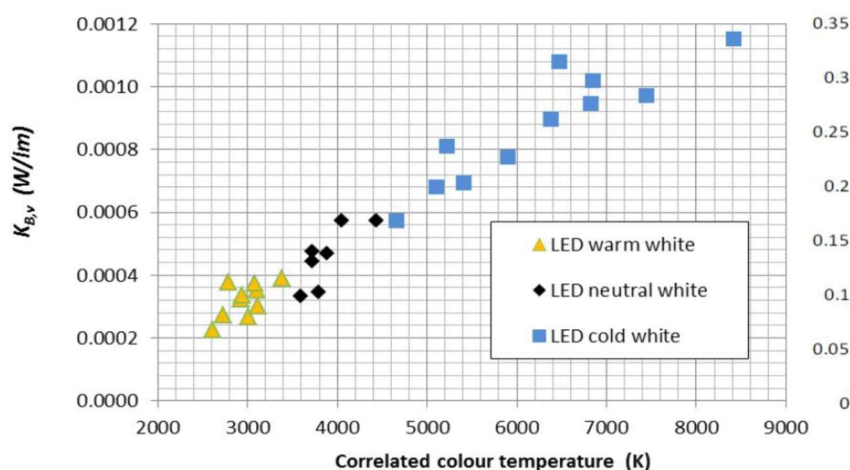
Dans la pratique, on peut éviter ce risque en prenant les mesures suivantes :

- se limiter aux lampes et luminaires contenus dans le groupe de risque G0 et G1.
- ne jamais dépasser les 4'000 K de couleur de lumière,
- sélectionner des luminaires avec diffuseur opalisé pour l'éclairage général,
- éviter que le regard ne puisse croiser trop facilement les spots les plus directionnels et sans protection,
- ne pas éclairer avec des diodes nues dans les zones de travail prolongé.

A cela, nous rajoutons l'obligation de certification du groupe de risque 0 ou 1, le respect du MacAdam, le respect de l'UGR et les garanties de 5 ans sur les sources, les alimentations et la connectique.

Quand il s'agit d'éclairage de couleur lumière du jour, on veillera à ce que l'exposition n'excède pas les 500 heures par an. Cette restriction ne s'applique pas aux zones comme les parkings et les entrepôts où la présence des utilisateurs est de courte durée.

Forte corrélation entre la température de couleur et le danger photobiologique lié à la lumière bleue.



DEGRE D'ILLUMINANCE TOLERE EN FONCTION DES DEGRES KELVIN

Couleur en Kelvin K	Illuminance lux
CCT ≤ 2 350	4 000
2 350 < CCT ≤ 2 850	1 850
2 850 < CCT ≤ 3 250	1 450
3 250 < CCT ≤ 3 750	1 100
<b>3 750 &lt; CCT ≤ 4 500</b>	<b>850</b>
4 500 < CCT ≤ 5 750	650
5 750 < CCT ≤ 8 000	500

## 2.4 ECLAIRAGE POUR LES ECOLES

### Principe

Il est utile de pouvoir connaître les niveaux d'éclairage recommandé suivant l'ergonomie de travail (le confort de la tâche de travail).

Dans la norme NBN EN 12464-1, on établit une nomenclature dans laquelle on retrouve pour différents locaux des bâtiments du tertiaire, entre autres, les paramètres suivants :

- le niveau d'éclairage moyen  $E_m$  à respecter au niveau de la tâche,
- la valeur limite de l'UGR,
- l'uniformité d'éclairage  $U_o$  minimale pour maintenir l'éclairage recommandé,
- l'indice du rendu des couleurs des lampes  $R_a$ ,
- et des remarques spécifiques à des cas particuliers.

Dans la nomenclature ci-dessous, on reprend les principaux types de locaux.

### Écoles maternelles et garderies

(Valeurs indicatives, seule la norme fait foi)

Type d'intérieur, tâche ou activité	$E_m$ (lux)	UGR	$U_o$	$R_a$	Plan de travail
Salle de jeux	300	22	0.40	80	0.1m au-dessus du sol
Crèches	300	22	0.40	80	0.5m au-dessus du sol par défaut
Salle de travaux manuels	300	19	0.60	80	0.5m au-dessus du sol par défaut

### Bâtiments scolaires

(Valeurs indicatives, seule la norme fait foi)

Type d'intérieur, tâche ou activité	$E_m$ (lux)	UGR	$U_o$	$R_a$	Remarques	Plan de référence
Salle de classe en primaire et secondaire	300	19	0.60	80	<i>un contrôle de l'éclairage est recommandé</i>	0.85 m du sol par défaut
Salle de classe pour les cours du soir et enseignement aux adultes	500	19	0.60	80	<i>un contrôle de l'éclairage est recommandé</i>	
Auditorium, salle de conférence	500	19	0.60	80	<i>un contrôle de l'éclairage est recommandé</i>	
Tableau noir, vert et blanc	500	19	0.70	80	1. éviter les réflexes spéculaires 2. un éclairage vertical convenable est recommandé pour l'enseignant/présentateur	Le plan vertical du tableau



Table de démonstration	500	19	0.70	80	<i>Pour les salles de conférence 750 lux</i>	0.85 m du sol par défaut
Salle d'art	500	19	0.60	80	-	
Salle d'art dans les écoles des beaux-Arts	750	19	0.70	80	$5000 K \leq T_{cp} \leq 6500 K$	
Salle de dessin industriel	750	16	0.70	80	-	
Salle de travaux pratiques et laboratoire	500	19	0.60	80	-	
Salle de travaux manuels	500	19	0.60	80	-	
Atelier d'enseignement	500	19	0.60	80	.	
Salle de pratique musicale	300	19	0.60	80	-	
Salle de pratique informatique	300	19	0.60	80	-	
Laboratoire de langues	300	19	0.60	80	-	
Atelier et salle de préparation	500	22	0.60	80	-	
Hall d'entrée	200	22	0.40	80	-	0.1 m du sol
Zones de circulation et couloirs	100	25	0.40	80	-	
Escaliers	150	25	0.40	80	-	
Salle commune pour étudiants et salle de réunion	200	22	0.40	80	-	0.85 m du sol par défaut
Salles des professeurs	300	19	0.60	80	-	
Bibliothèque : rayonnages	200	19	0.60	80	-	Plan verticaux des rayonnages.
Bibliothèque : salle de lecture	500	19	0.60	80	-	0.85 m du sol par défaut
Réserves pour le matériel des professeurs	100	25	0.40	80	-	-
Cantine scolaire	200	22	0.40	80	-	0.85 m du sol par défaut
Cuisine	500	22	0.60	80	-	

## 2.5 ECLAIRAGE DES SALLES DE SPORT

Dans une salle de sport, un bon éclairage devra permettre aux joueurs

- de percevoir les mouvements (des balles par exemple),
- de se situer par rapport aux marquages au sol,
- de localiser les autres joueurs et l'équipement sportif (paniers, cages de but).

L'éclairage recommandé par les normes est proportionnel à la vitesse de l'action. Un sport pratiqué comme loisir demande donc un éclairage plus faible qu'un sport pratiqué en compétition. Le type de sports en salle ainsi que leurs niveaux de pratique déterminent le niveau d'éclairage recommandé.

On notera aussi que pour la plupart des sports, l'éclairage vertical est aussi important que l'éclairage horizontal au sol.

La norme NBN EN 12193 établit une nomenclature dans laquelle on retrouve les paramètres suivants :

- le niveau d'éclairage horizontal moyen Eav,
- l'uniformité entre l'éclairage minimum et Eav (définie comme Emin / Eav),
- l'indice du rendu des couleurs des lampes Ra.

### Niveau de pratique des sports

Les classes d'éclairage sont définies comme suit :

*Classe I* : salles de sport prévues pour accueillir des compétitions internationales et nationales. Elles sont liées, en général, à un grand nombre de spectateurs et à des distances visuelles élevées. On peut aussi associer à cette classe les entraînements de grande performance.

*Classe II* : salles de compétition moyenne (nombre moyen de spectateurs et distances visuelles moyennes).

*Classe III* : salles de compétition simple ou amateur (faible nombre de spectateurs et distances visuelles courtes).

Pour les rénovations et les nouveaux sites, l'OBA doit garantir un niveau régional, de classe II.

## Exigences minimales

N.B. : Les niveaux d'exigences devront correspondre aux niveaux du sport le plus exigeant pratiqué.

(Valeurs indicatives, seule la norme fait foi)

Exigences minimales pour l'éclairage des salles de sport	Classe d'éclairage I			Classe d'éclairage II			Classe d'éclairage III		
	Éclairage Eav (lux)	Uniformité Emin/Eav	Rendu des couleurs Ra	Éclairage Eav (lux)	Uniformité Emin/Eav	Rendu des couleurs Ra	Éclairage Eav (lux)	Uniformité Emin/Eav	Rendu des couleurs Ra
Badminton Escrime Hockey Squash Tennis de table	750	0.7	60	500	0.7	60	300	0.7	20
Basket Football en salle Handball Judo, Karaté Sport scolaire Volley-ball	750	0.7	60	500	0.7	60	200	0.5	20
Danse Escalade Gymnastique	500	0.7	60	300	0.6	60	200	0.5	20
Tennis	750	0.7	60	500	0.7	60	300	0.5	20
Tir à l'arc	200	0.5	60	200	0.5	60	200	0.5	60

## 3. CFC 233.2 ECLAIRAGES SPECIAUX

### 3.1 LASERS

La sécurité des lasers est réglementée par la norme CEI 60825 ainsi que par la documentation de la SUVA en vigueur.

### 3.2 FIBRE OPTIQUE

Les installateurs de fibre optique porteront des gants de protection adaptés pendant et après l'épissure des fibres optiques, on veillera à collecter dans un récipient les résidus très fin provenant de la rupture de fils.

### 3.3 LES LAMPES HID

Les lampes à halogénures métalliques. Elles forment un arc électrique (d'une dizaine de mm) dans une ampoule renfermant des halogénures métalliques et des vapeurs de mercure à haute pression. Les métaux vaporisés émettent une lumière blanche vive, avec une grande efficacité (5 fois meilleure qu'une lampe à incandescence); ces lampes sont donc intéressantes quand on désire un bon rendu des couleurs. Les éléments halogénés servent à augmenter la concentration en métaux vaporisés dans la zone chaude de l'arc. Tout comme pour les lampes halogènes à filament de tungstène, les ampoules de ces lampes sont en quartz et laissent échapper un rayonnement ultraviolet qui doit être filtré. Ces lampes sont utilisées dans les vitrines commerciales, les terrains de sport.

### 3.4 LAMPES A VAPEURS DE SODIUM

#### **Les lampes à vapeur de sodium à basse pression**

Le tube est rempli d'un mélange de néon, d'argon et de parcelles de sodium. Une décharge électrique dans ce mélange fournit une lumière orange monochromatique (longueur d'onde 589 nm). Le néon, avec sa couleur rouge caractéristique, sert à démarrer la décharge et à chauffer le sodium. Ces lampes sont surtout utilisées pour l'éclairage des routes. De toutes les sortes de lampes actuellement disponibles, ce sont celles qui ont la plus grande efficacité lumineuse. C'est le type de lampe idéal quand le rendu des couleurs n'est pas important. Dans les régions qui ont établi des règlements sur l'éclairage extérieur, c'est le seul type de lampe autorisé à proximité des observatoires astronomiques, car le rayonnement qu'elles émettent peut facilement être filtré.

#### **Les lampes à vapeur de sodium à haute pression**

Également des lampes à décharge, elles émettent une lumière jaune-orange, plus éblouissante que les lampes au sodium à basse pression, et elles donnent un rendu des couleurs un peu meilleur que ces dernières (mais ce rayonnement en bande spectrale plus large est plus difficile à filtrer pour les observations astronomiques). Actuellement, c'est ce type de lampes qui est le plus couramment installé pour l'éclairage public, bien que son efficacité lumineuse soit moins bonne que celles des lampes au sodium à basse pression.

## 3.5 AUTRES LAMPES SPECIALES

### **Lampes pour photosynthèse**

Lampes émettant une lumière blanche avec un rayonnement autour de 655 nm. Elles sont destinées à accélérer la photosynthèse des plantes. Les applications sont, par exemple, les magasins de fleuristes, les halls d'entrée, les serres industrielles.

### **Lampes germicides**

Elles émettent de l'ultraviolet dans la longueur d'onde 253,7 nm. Les applications sont la purification, la stérilisation de l'air, de l'eau et des instruments dans l'industrie pharmaceutique, les hôpitaux, les stations de traitement ou les laboratoires. Ces lampes émettent un rayonnement dangereux pour les yeux et la peau.

### **Lampes à lumière noire**

Elles génèrent une émission d'ultraviolets dans les grandes longueurs d'ondes ayant pour effet d'activer les pigments fluorescents. Les applications sont la recherche de défauts en industrie ou de faux (billets, tableaux...) ainsi que les spectacles.

## 4. CFC 233.3 ECLAIRAGES EXTERIEURS

### 4.1 CRITERES D'ECLAIRAGE SUR LES LIEUX DE TRAVAIL

La norme d'éclairage extérieur EN 12464-2, associée à la norme CIE S008, spécifie la qualité et la quantité d'éclairage nécessaires pour que les tâches visuelles soient assurées avec précision sur les lieux de travail. La norme impose trois critères à respecter :

- le niveau d'éclairement moyen à maintenir (en lux) sur la surface de référence de la zone de travail en extérieur. Celle-ci intègre les critères de confort visuel, de bien-être, les exigences d'ergonomie visuelle et de sécurité.
- l'uniformité d'éclairement: dans les zones environnantes qui ne doit pas être inférieure à 0,10. Sur un parking, l'uniformité d'éclairement doit par exemple présenter une valeur de 0,25.
- l'indice d'éblouissement ou limite d'éblouissement d'inconfort : elle est évaluée sous la forme de la valeur du taux d'éblouissement.

L'installation d'un éclairage extérieur dans un environnement paysagé doit obligatoirement être raccordée au réseau par un électricien titulaire d'une autorisation d'installer accordée par l'inspection.

- Toute installation d'une puissance supérieure à 3600 watts (3,6 kW) doit préalablement être annoncée par l'installateur électricien à l'exploitant du réseau. Un rapport de sécurité doit obligatoirement être établi garantissant aux utilisateurs des installations sûres et non dangereuses. En principe les lampes et jeux d'eau d'un jardin fonctionnent avec une tension de 0 à 230 volts.
- Les tranchées de passage des gaines contenant les câbles électriques doivent atteindre une profondeur de 80 cm. Les câbles doivent être signalés par des rubans de marquage de couleur et séparés des autres systèmes d'alimentation.
- Les boîtiers de dérivation et autres chambres de tirage doivent être suffisamment protecteurs et isolés pour protéger les câbles non seulement des mauvaises manipulations mais également de l'eau.

### TYPES DE POSTES DE TRAVAIL EXTERIEURS, DE TACHE OU D'ACTIVITE

(Valeurs indicatives, seule la norme fait foi)

	Nombre de lux	CRI
<b>Zones de circulation générales de lieux/postes de travail extérieur</b>		
Trottoirs réservés aux piétons	5	20
Zones de circulation pour véhicules lents (max. 10 km/h), p. ex. bicyclettes, camions, pelleteuses	10	20
Trafic de véhicules régulier (max. 40 km/h)	20	20
Passage pour piétons, carrefours giratoires, plates-formes de chargement et de déchargement	50	20
<b>Chantiers</b>		
Travaux de déblaiement, excavations et chargement	20	20
Zones de construction, pose de tuyaux draineurs, travaux de transports, auxiliaires et de manutention	50	20
Montage d'éléments porteurs, travaux d'armature simples, travaux de coffrage et montage d'éléments préfabriqués, pose de lignes électriques et de câbles	100	40
Jonction d'éléments porteurs, installation complexe de lignes électriques, de machines et de conduites de distribution	200	40
<b>Installations industrielles et zones d'entrepôt</b>		
Manutention de courte durée de grands éléments de construction et de matières premières, chargement et déchargement de marchandises volumineuses	20	20

Manutention continue de grands éléments de construction et de matières premières, chargement et déchargement de marchandises volumineuses	50	20
Lecture d'inscriptions, plates-formes de chargement sous abri, utilisation d'outillage, fabrication d'éléments préfabriqués en béton armé	100	20
Montage complexe d'installations électriques, de machines et de conduites, inspection	200	60
<b>Parkings</b>		
Circulation peu intense, p. ex. parking de magasins, maisons unifamiliales, immeubles d'habitation, zones de stationnement pour vélos	5	20
Circulation moyenne, parking de grands magasins, immeubles de bureaux, fabriques, établissements sportifs et salles polyvalentes	10	20
Circulation intense, p. ex. parking d'écoles, églises, grands centres commerciaux, grands centres sportifs et salles polyvalentes	20	20

## 4.2 POLLUTION LUMINEUSE

La lumière artificielle fait reculer toujours davantage l'obscurité. S'il faut se féliciter de la sécurité accrue qui en résulte en de nombreux cas, on constate aussi des effets dommageables: la contemplation du ciel nocturne n'est plus possible en maints endroits, l'habitat des animaux nocturnes est perturbé, avec des conséquences mortelles pour un grand nombre d'entre eux, le rythme circadien et le système endocrinien de l'homme et des animaux subissent des influences négatives. La lumière dispersée inutilement constitue un gaspillage d'énergie et nous prive des émotions que procure l'ambiance d'un paysage nocturne plongé dans l'ombre. Ce chapitre formule des recommandations sur la façon de remédier aux effets négatifs des émissions lumineuses par des solutions techniques ou des garde-fous juridiques, pour enrayer du même coup un gaspillage inutile d'énergie électrique, sans toutefois réduire la sécurité dont nous avons besoin.



### **Les conséquences néfastes en bref**

- Effacement du paysage nocturne naturel et de l'espace au-dessus de nous, avec pour conséquence l'occultation du ciel étoilé (aspects culturel et paysager).
- Influences sur les systèmes circadiens et endocriniens de l'homme et de l'animal (aspects médical et biologique).
- Atteintes aux habitats des animaux nocturnes pouvant avoir des conséquences fatales pour nombre d'entre eux (aspects éthique et écologique).
- Accroissement de la gêne ressentie par l'être humain dans les zones habitées en raison de l'éblouissement et de l'illumination de l'espace (aspects physiologique et psychologique).
- Gaspillage d'énergie dû à un éclairage inutile (aspects technique, économique et énergétique).

### **Nécessité de l'éclairage**

Dans de nombreux cas, la nécessité d'une lampe extérieure peut être remise en question, notamment si elle entraîne un double éclairage. En cas de modifications apportées à des bâtiments, on veillera à supprimer les éclairages devenus superflus.

### **Mesures techniques**

Les corps lumineux doivent être munis d'écrans afin de canaliser la lumière vers le point à éclairer. L'installation d'écrans et de dispositifs optiques (miroirs, réflecteurs) dans les boîtiers des lampes permet d'obtenir cet effet. Les lampes présentant un angle de diffusion réduit sont particulièrement appropriées. Par ailleurs, les objets ne doivent pas être illuminés plus fortement que nécessaire. Un éclairage tamisé donne souvent un meilleur résultat. En outre, on utilisera les corps lumineux qui émettent le moins possible de lumière à ondes courtes. Les lampes à vapeur de sodium à haute pression et surtout les lampes à vapeur de sodium à basse pression sont relativement inoffensives pour les insectes et consomment beaucoup moins d'énergie. C'est pourquoi elles doivent être considérées comme particulièrement respectueuses de l'environnement.

### **Orientation et disposition des lampes**

Par principe, toute lampe doit être dirigée vers le sol. Les réverbères, en particulier, doivent être placés de sorte à ne pas diffuser de lumière dans l'environnement ni dans les milieux écologiquement sensibles.

### **Limitation de la durée d'éclairage**

Un usage de l'éclairage dans le respect de l'environnement implique l'installation d'une gestion. Ces dispositifs permettent au moins de réduire l'intensité de l'éclairage à certaines heures de la nuit (de la même façon que pour la protection contre le bruit, où des valeurs limites plus basses sont applicables entre 22 heures et 6 heures). Dans les zones écologiquement sensibles, l'éclairage devrait être totalement éteint après 22 heures – pour autant que les prescriptions de sécurité le permettent.

### **Mesures supplémentaires**

Ne seront utilisées que les lampes comportant une isolation qui empêche les insectes de pénétrer à l'intérieur. Si le sol est fortement éclairé, on veillera à éviter que son revêtement soit de couleur claire, voire réfléchissante. Il faut choisir un système d'éclairage simple et sûr à entretenir, difficilement accessible aux passants. En outre, on n'utilisera que des corps lumineux ayant une longue durée de vie et une faible consommation d'énergie. Réduire les émissions lumineuses ne présente aucun inconvénient pour l'homme et la nature, mais les avantages de la démarche sont nombreux:

- **Gain économique:** toute la lumière émise dans l'espace et l'atmosphère est inutilisée. Qui dit réduction des émissions, dit réduction de la consommation d'énergie et, par conséquent, réduction des coûts.
- **Gain écologique:** un éclairage extérieur bien réfléchi, qui laisse la place au calme et à la régénération nocturne, est important pour conserver et améliorer la qualité de vie de l'homme, de la flore et de la faune.
- **Gain architectural:** des espaces extérieurs trop clairs limitent fortement l'aménagement lumineux. La mise en valeur d'un ouvrage par de l'éclairage artificiel requiert un environnement sombre, sans quoi le contraste est insuffisant.
- 
-





### Bases légales au niveau fédéral

La Suisse dispose au niveau fédéral de plusieurs bases légales qui indiquent que les nuisances dues à la lumière artificielle sont à éviter dans la mesure du possible:

- Loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage (LPN ; RS 451): articles 1 à 3, article 18, ainsi que l'article 20, alinéa 1.
- Loi fédérale sur la protection de l'environnement (LPE ; RS 814.01): articles 1, 7 alinéas 1 et 4, ainsi que les articles 11, 12 et 14.
- Loi fédérale sur la chasse et la protection des mammifères et oiseaux sauvages (LChP ; RS 922.0): article 1, alinéa 1 et article 7, alinéa 4.
- Loi fédérale sur l'aménagement du territoire (LAT ; RS 700): articles 1 et 3.
- Ordonnance sur la signalisation routière (RS 741.21): article 96, alinéas 1 et 5, ainsi qu'article 98, alinéa 2.

Selon ces bases légales les émissions lumineuses doivent être évaluées et limitées de la manière suivante:

- Limitation des émissions: Dans son article introductif (art. 1 LPE), la loi sur la protection de l'environnement se donne pour but de protéger les hommes, les animaux et les plantes, leurs biocénoses et leurs biotopes contre les atteintes nuisibles ou incommodes. L'article 11, alinéa 2 traite plus spécialement des émissions et postule qu'indépendamment des nuisances déjà existantes, il importe, à titre préventif, de limiter les émissions dans la mesure que le permettent l'état de la technique et les conditions d'exploitation et pour autant que cela soit économiquement supportable. Les émissions seront limitées plus sévèrement s'il s'avère ou s'il y a lieu de présumer que les atteintes, eu égard à la charge actuelle de l'environnement, seront nuisibles ou incommodes (art. 11, al. 3, LPE).

### Critères de sélection

- Efficacité lumineuse (efficacité énergétique)
- Dark-Sky: Les luminaires qui diffusent de la lumière vers le haut ne sont pas admis. L'angle de rayonnement vertical doit être inférieur à 90°. Le luminaire ne doit pas être pivotable vers le haut.
- Les lampes halogènes sont exclues car elles n'atteignent pas l'efficacité énergétique requise.
- Les lampes fluorescentes sont exclues car elles contiennent du mercure et supportent mal le froid.

Pour plus d'informations, on pourra se référer au site [www.darksky.ch](http://www.darksky.ch)

## 5. DOCUMENTATION DU PROJET ET ATTESTATION SELON KBOB

Phases du projet					Exigence
E	A	P	O	R	Légende : Etudes Préliminaires, Avant-Projet, Projet, Appel d'Offre, Réalisation (✓) provisoire/ébauche    ✓ définitif    ☑ contrôle/adaptation
	(✓)	✓	☑	☑	Attestation d'éclairage conforme à l'aide de l'utilitaire ReluxEnergy CH selon SIA 380/4. On utilisera pour cela la version la plus récente de l'utilitaire (téléchargement à l'adresse <a href="http://www.energytools.ch">www.energytools.ch</a> ).
	(✓)	✓	☑	☑	Plans avec luminaires dessinés et surfaces des locaux indiquées à l'échelle 1 :100.
	(✓)	✓	☑		Calculs d'éclairage de toutes les pièces typiques (par ex. avec ReluxEnergy CH). Les paramètres et résultats tels que les données relatives aux luminaires (fiche technique du luminaire y c. courbe de répartition photométrique, limitation de l'éblouissement selon UGR, diagramme de Sölnner), les données de la pièce, y c. les facteurs de réflexion, l'aperçu des résultats du plan utile, le tableau du plan utile et la limitation de l'éblouissement selon UGR dans la pièce être compris dans les calculs.
	(✓)	✓	☑		Justifications en cas d'utilisation spéciale dans l'attestation.
	(✓)	✓	☑		Indications concernant l'utilisation de la lumière du jour : degré de transmission des verres utilisés, hauteurs de chute, équipement de protection solaire, profondeurs de balcon / d'avant-toits et situation de construction (joindre une coupe de façades et un plan de situation).
	(✓)	✓	☑		Concept de couleurs des pièces si des réflexions spatiales sont déclarées « claires ».
	(✓)	✓	☑	☑	Concept / schéma de principe de l'éclairage de secours.
	(✓)	✓		✓	Récapitulatif des coûts d'éclairage (présentation selon les positions CFC).
		✓	☑	☑	Indications relatives aux capteurs de présence, de mouvement et de lumière du jour (fabrication, type).
		✓	☑	☑	Description fonctionnelle des commandes d'éclairage de toutes les pièces typiques et plans d'ensemble (plans des surfaces).
		✓	☑	☑	Fiche technique de tous les types de luminaire (par ex. avec ReluxEnergy CH), avec toutes les indications pertinentes, telles que le type et le rendement du luminaire, l'UGR, la puissance du système, la puissance en veille, le flux lumineux par luminaire.
		✓	☑	☑	Concept d'entretien : accessibilité des luminaires, vue d'ensemble des lampes.
			(✓)	☑	Tests intégrés (tests fonctionnels) : plan de test, procès-verbal.
				✓	Mesures de contrôle des éclairages de tous les locaux typiques.
				✓	Un plan d'entretien et une liste des pièces détachées doivent être établis pour tous les luminaires et lampes des installations d'éclairages. L'intervalle de maintenance doit être déterminé avec l'utilisateur pour les locaux techniques dont l'encrassement est important.

Ce tableau doit être intégré dans les appels d'offres et complété par la limite de prestation selon les SIA 108 et 118.

## GLOSSAIRE

### 6

6lowPAN..... 22

### A

Affectations des locaux ..... 9  
Affectations spéciales..... 9  
Applique indirecte ..... 44  
Automate programmable..... 21  
Avantages des LED..... 33

### B

BACnet..... 22  
BALLASTS (normes à respecter) ..... 46  
bâtiments scolaires..... 64  
Besoin énergétique ..... 10  
Besoin énergétique spécifique ..... 10  
Bilan énergétique ..... 10  
Binning MacAdam ..... 28  
Boutons poussoirs..... 15  
BUS DE TERRAIN ..... 16

### C

Câblage filaire..... 17  
Câblage par Bus en boucle ..... 17  
Calcul de l'éclairage Minergie ..... 13  
Calcul de la puissance installée ..... 10  
Calcul de la TAR..... 26  
CEI TR 62778..... 60  
CEM..... 31  
Certifier les éclairages ..... 13  
CFC 233 éclairages intérieurs..... 6  
CHECK LIST SOURCE ET LUMINAIRE LED ..... 48  
CHECK LIST TRANSFO LED..... 48  
CLASSES DE LUMINAIRES..... 35  
CODES PHOTOMETRIQUES A SIX CHIFFRES ..... 45  
COMMANDES MANUELLES..... 14  
COMMANDES D'ECLAIRAGE..... 14  
Commande LED parallèle..... 47  
Commande LED série ..... 47  
Compatibilité électromagnétique ..... 31  
CONSOMMATION ENERGETIQUE..... 8  
Constance de couleur des LED..... 29  
COURBES CHROMATIQUES ..... 59  
COURBES PHOTOMETRIQUES..... 35  
CQS ..... 30  
Critères classiques de qualité de l'éclairage..... 53  
Critères d'un poste de travail idéal..... 51  
Cycles de commutation ..... 28

### D

DALI ..... 19  
DANGERS THERMIQUES ET PHOTO CHIMIQUES POUR  
L'OEIL..... 62  
Défaillance précoce ..... 28  
DEGRE D'EBLOUISSEMENT UGR ..... 57  
Degré d'illuminance en fonction des °Kelvin..... 63

Détecteur PIR..... 18  
DETECEUR RADAR (HF)..... 18  
DETECTEUR DE MOUVEMENT ET PRESENCE... 18  
Diagramme de Kruithof..... 55  
DOMOTIQUE ..... 19  
Durée de vie des divers types de sources ..... 28

### E

Eclairage en fonction de surfaces partielles..... 54  
Eclairage en fonction du local ..... 53  
Eclairage en fonction du poste de travail..... 53  
Eclairage Minergie ..... 12  
Eclairement ..... 28  
Ecoles maternelles et garderies..... 64  
Economie d'énergie ..... 11  
EFFET D'OMBRE ..... 58  
Effet stroboscopique ..... 31  
EFFETS BIOLOGIQUES DE LA LUMIERE ..... 58  
Effets du papillotement ..... 31  
Energie grise ..... 32  
Energytools ..... 13  
EnOcean..... 22  
Evaluation des besoins énergétiques..... 11  
Exigences relatives aux tubes LED de remplacement ... 25

### F

Facteur d'un bon éclairage..... 51  
Facteur de conservation du flux lumineux..... 29  
Facteur de durée de vie ..... 28  
FACTEUR DE PLANIFICATION ..... 55  
Facteur de puissance ..... 29  
FACTEUR DE REFLEXION..... 56  
FIBRE OPTIQUE ..... 68  
FLUO-COMPACT..... 33  
Flux lumineux..... 27

### G

G0 – Groupe sans risque ..... 61  
G1 - Groupe de risque 1 ..... 61  
G2 - Groupe de risque 2 ..... 61  
G3 – Groupe de risque 3 ..... 61  
Graduation des lampes fluorescentes ..... 32  
Gradateurs..... 15  
GESTION EN FONCTION D'UN HORAIRE..... 15  
GESTION CENTRALISEE DE L'ECLAIRAGE... 16  
GROUPES DE RISQUES LUMIERE BLEUE ..... 60

### I

IEC/PAS 62717..... 46  
IEC/PAS 62722..... 46  
Installer ou optimiser les réglages de lumière ..... 23  
Intensité lumineuse ..... 27  
IP..... 45  
IRC et CQS ..... 30  
Interrupteurs..... 15



REPUBLIQUE ET CANTON DE GENEVE  
Département des finances  
**Direction Ingénierie & Energie**

**J**

Justificatif énergétique.....	13
Justificatif énergétique: méthode ponctuelle .....	11

**K**

KBOB.....	74
Kelvin.....	30
KNX.....	19

**L**

La liaison de commande à 2 fils.....	17
Lampadaire direct/indirect.....	43
Lampadaire indirect .....	42
Lampe pour photosynthèse.....	69
Lampe germicide.....	69
Lampe pour lumière noire.....	69
LASERS.....	68
LED.....	33
Logiciel de calcul ReluxEnergy .....	13
Logo! Siemens.....	21
LonWorks .....	21
LUMIERE BLEUE : Groupes de risques .....	59
LUMIERE BLEUE : Le paradoxe .....	62
LUMIERE NATURELLE .....	7
LUMINAIRES LED.....	46
Luminaire en applique « grille à miroir ».....	39
Luminaire en applique « lumière douce ».....	38
Luminaire en applique « vasque opale ».....	36
Luminaire encastré « cache opale » .....	40
Luminance .....	28

**M**

MacAdam.....	28
Mercure.....	31
Milieu confiné .....	48
Minergie.....	12
Modifier les luminaires existants .....	22

**N**

NIBT .....	6
NORME CEI 62471 :2006 .....	60

**O**

OMBT 734.26.....	6
OMBT et Tubes LED.....	24

**P**

Papillotement .....	31
Papillotement des LED .....	31
Performance globale .....	31

Performance ponctuelle .....	9
Plafonnier ouvert .....	41
Planification de l'éclairage .....	53
Pointe de courant .....	47
Puissance installée .....	10

**R**

Rayonnement ultraviolet .....	31
RAYONNEMENTS OPTIQUES .....	61
ReluxEnergy.....	12
Remplacer les luminaires .....	23
Rendement des divers luminaires.....	44
Retrofit.....	23
Retrofit Tubes LED .....	25
RoHS.....	29

**S**

Salles de sport .....	66
Sécurité électrique.....	6
Sécurité photobiologique.....	60
SECURITE ET BONNES PRATIQUES.....	6
SIA 380/4.....	8
Simulations d'éclairage .....	13
Surface de référence énergétique .....	8
Suspension directe/indirecte .....	37

**T**

TAR.....	26
Temps de démarrage .....	28
Température de couleur .....	30
Typologie des sources.....	32
TOPOLOGIE .....	17
TUBE FLUORESCENT A DOUBLE CULOT.....	32
Tubes LED et norme IEC 62776.....	25
Types de postes de travail extérieurs.....	69

**U**

UGR.....	57
UTILANCE .....	56
Utilisateurs inconnus au moment du justificatif .....	9

**V**

Valeurs cibles .....	9
Valeurs limites.....	9

**Z**

ZHAGA.....	47
ZigBee .....	22
ZONE DE CONFORT .....	55