

L'ECLAIRAGE DES LOCAUX DE TRAVAIL

Travail dirigé par :

Thierry ATHUYT

Professeur associé

Faculté de pharmacie

Marseille

Unité d'enseignement 5

Facteurs d'ambiance

Rédigé par :

GHURBURRUN Reena

SETTA Faïza

TOULZE Benjamin

TABLE DES MATIERES

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES.....	3
INTRODUCTION.....	4
I CONTEXTE D'ETUDE.....	5
I.1 LA REGLEMENTATION ET LES RECOMMANDATIONS	5
I.1.1 <i>Le Code du Travail.....</i>	5
I.1.2 <i>Les textes réglementaires de référence.....</i>	6
I.1.3 <i>Les recommandations.....</i>	8
I.2 DEFINITION DES TERMES	9
II OBJECTIFS TECHNIQUES ET ORGANISATIONNELS	14
II.1 LES RESPONSABILITES	14
II.1.1 <i>Les obligations du chef d'établissement.....</i>	14
II.2 L'éclairage de sécurité.....	16
II.1.2 <i>Les obligations du maître d'ouvrage.....</i>	18
II.2 CAS PARTICULIERS	19
II.3 LES SANCTIONS PENALES	20
III REALISATION TECHNIQUE ET GESTION DES COUTS.....	21
III.1 LES TECHNOLOGIES D'ECLAIRAGE ET L'EFFICACITE ENERGETIQUE	21
III.1.1 <i>Les lampes à incandescence.....</i>	22
1 Les lampes à incandescence standard	22
2 Les lampes tungstène-halogènes	23
III.1.2 <i>Les lampes fluorescentes.....</i>	24
1 Les tubes fluorescents	24
2 Les lampes fluorescentes compactes.....	25
III.1.3 <i>Les lampes à décharge.....</i>	27
1 Les lampes à vapeur de mercure.....	28
2 Les lampes aux halogénures métalliques	28
3 Les lampes au sodium haute-pression.....	28
III.2 QUELLE LAMPE POUR QUELLE APPLICATION ?	30
III.3 DIFFERENTES SOURCES D'ECLAIRAGE DE SECURITE	32
III.3.1 <i>L'éclairage de sécurité à source centrale.....</i>	32
III.3.2 <i>Les Blocs Autonomes d'Eclairage de Sécurité : BAES.....</i>	32
1 Conformité.....	33
III.3.3 <i>La maîtrise des énergies dans l'éclairage : une approche globale.....</i>	34
III.3.4 <i>La gestion des apports de lumière ou l'éclairage intelligent.....</i>	35
1 Les luminaires.....	36
2 Les ballasts électroniques.....	37
III.4 LE COUT DE L'ECLAIRAGE.....	38
III.4.1 <i>Caractéristiques générales.....</i>	38
III.4.2 <i>Maîtrise des coûts d'exploitation.....</i>	39
1 La commande manuelle	39
2 La commande automatique	39
3 La gestion d'ambiances.....	40
4 La gestion centralisée de la lumière.....	40
III.4.3 <i>Exemple d'application de réduction des coûts pour l'éclairage de bureaux.....</i>	41
CONCLUSION	43
BIBLIOGRAPHIE.....	44

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

Tableau 1 : Grandeurs fondamentales dans le domaine de l'éclairage	9
Tableau 2 : Classement des lampes en fonction de la température de leur couleur	10
Tableau 3 : Indices de rendu des couleurs et couleur apparente selon l'activité exercée	11
Tableau 4 : Valeurs minimales d'éclairement général par type de travail d'après le décret n°83-721 du 2 août 1983 et la norme NF X 35-103	14
Tableau 5 : Valeurs d'éclairement minimal à respecter selon le type d'activité.....	15
Tableau 8 :Caractéristiques techniques des sources lumineuses.....	29
Tableau 9 : Comparaison des lampes et luminaires utilisés en industrie	31
Tableau 10 : Lampes utilisés pour les BAES de balisage et d'ambiance	33
Tableau 11: Estimation globale du coût d'éclairement d'un local.....	42

Figure 1 : Angle minimum entre la direction de la source et celle du regard

INTRODUCTION

L'éclairage des lieux de travail est un facteur environnemental essentiel pour assurer au personnel des conditions de travail adaptées à la tâche qu'ils ont à effectuer. Il doit :

- faciliter l'exécution d'une tâche
- assurer le bien-être

L'éclairage des lieux de travail répond à une réglementation stricte mais peut aussi suivre les recommandations de plusieurs normes. Il a pour objectif d'avoir une véritable approche préventive en éliminant les risques à la source. Cet objectif est l'un des points importants de la loi du 6 décembre 1976 relative au concept de sécurité intégrée et il est renforcé par la loi du 31 décembre 1991 qui rend obligatoire la prise en compte le plus en amont possible de cette notion de sécurité intégrée.

Il existe de nombreux textes légaux et normes réglementant l'éclairage des lieux de travail. Dans une première partie, nous recenserons les textes importants. Ensuite, nous décrirons, les objectifs techniques et organisationnels nécessaires pour assurer le respect de la réglementation ainsi que les sanctions pénales encourues pour son non respect. Enfin, les aspects techniques et économiques relatifs à l'éclairage seront traités.

I CONTEXTE D'ETUDE

I.1 La réglementation et les recommandations

I.1.1 Le Code du Travail

Plusieurs articles du code du travail imposent les règles à suivre pour assurer un bon éclairage sur les lieux de travail.

Les articles suivants concernent les règles générales à suivre :

Art. L231-2 et R.232-7 à R.232-10 : concernant les obligations des chefs d'établissement.

Art. L235-1, L235-19 et R.235-1 à R.235-2-3 : décrivant les obligations des maîtres d'ouvrage.

Quand aux articles ci dessous, ils précisent des dispositions particulières ne s'appliquant pas à tous les cas :

Art. R.232-13-3 : expliquant les dispositions particulières aux établissements agricoles.

Art. R.233-84 (annexe I) : concernant les dispositifs d'éclairage des machines et des équipements de travail.

I.1.2 Les textes réglementaires de référence

Décret n°83-721 du 2 août 1983 complétant le Code du Travail en ce qui concerne l'éclairage des lieux de Travail. Il est destiné aux chefs d'entreprises. Les dispositions de ce décret sont codifiées aux articles **R.232-7 à R.232-7-10** du code du travail.

Il précise :

- les valeurs minimales à respecter pour l'éclairage général dans quatre situations intérieures et deux situations extérieures
- le niveau d'éclairage doit être adapté à la nature et à la précision des travaux à exécuter (valeurs précisées par la circulaire du 11 avril 1984)
- le rapport entre les niveaux d'éclairage dans un même local
- la protection contre le rayonnement solaire
- les risques d'éblouissement ou de fatigue visuelle dus à des surfaces à forte luminance
- la qualité du rendu des couleurs
- les phénomènes de fluctuation de la lumière
- les risques d'effets thermiques et de brûlures
- l'accès des organes des commandes
- l'entretien du matériel d'éclairage

Décret n° 83-722 du 2 août 1983 complétant le Code du Travail et fixant les règles relatives à l'éclairage des lieux de travail auxquelles doivent se conformer les maîtres d'ouvrage entreprenant la construction ou l'aménagement de bâtiments destinés à l'exercice d'une activité industrielle, commerciale ou agricole. Les dispositions de ce décret sont codifiées aux articles **R.235-1 à R.235-2-3** du code du travail.

Il explicite :

- l'utilisation de la lumière naturelle pour l'éclairage des locaux de travail
- la réalisation de bâtiments satisfaisant aux dispositions du décret n°83-721 concernant les niveaux d'éclairage et la facilité d'entretien du matériel d'éclairage
- la rédaction et la transmission au chef d'établissement utilisateur d'un document contenant les informations relatives au niveau d'éclairage et aux règles d'entretien du matériel : le cahier des charges

Circulaire du 11 avril 1984 relative aux commentaires techniques des décrets n° 83-721 et 83-722 du 2 août 1983 relatifs à l'éclairage des lieux de travail.

Arrêté du 23 octobre 1984 relatif aux relevés photométriques sur les lieux de travail et aux conditions d'agrément des personnes et organismes pouvant procéder à ces contrôles.

Lettre-circulaire DRT n° 90/11 du 28 juin 1990 relative à l'éclairage naturel et à la vue vers l'extérieur.

Décret 92-333 du 31 mars 1992 qui enrichi le décret 83-721 et relatif à la lumière naturelle (entrée en vigueur le 1^{er} janvier 1996).

Article 53 du Décret n°88-1056 du 14 novembre 1988 relatif aux installations et aux contrôles périodiques de l'éclairage de sécurité dans les ERT (Etablissements Recevant des Travailleurs).

Article 3 et 4 de l'arrêté du 20 décembre 1988 relatif aux contrôles périodiques de l'éclairage de sécurité dans les ERT.

Article 9 de l'annexe I de l'arrêté du 10 novembre 1976 relatif aux essais périodiques et à la maintenance des l'installations d'éclairage de sécurité dans les ERT.

Article 15 de l'arrêté du 04 novembre 1993 relatif aux essais périodiques de l'éclairage de sécurité dans les ERT.

Article 47 du décret n°88-1056 du 14 novembre 1988 relatif à la maintenance des installations d'éclairage de sécurité dans les ERT.

Arrêté du 10 novembre 1976 relatifs aux circuits et installations de sécurité dans les ERT. Il est pris en application par l'article 15 du décret du 14 novembre 1962 modifié par le décret du 14 novembre 1988, dont l'article 15 (règles applicables pour les installations de sécurité et en particulier l'éclairage de sécurité) prévoit un nouvel arrêté qui fixera les modalités d'application pour les installations électriques. Cet article complété par la circulaire DRT n°89/2 du 6 février 1989, précise que l'arrêté de 1976 reste applicable dans l'attente du nouvel arrêté.

Décret du 14 novembre 1962 : modifié par le décret n°88-1056 du 14/11/1988, impose les vérifications périodiques ainsi qu'une surveillance des installations électriques en ce qui concerne l'éclairage de secours.

Les applications de ce décret sont détaillées dans les arrêtés suivants :

- Arrêté du 10/11/1976 (modifié par l'arrêté du 26/02/2003) est relatif aux circuits et installations de sécurité
- Arrêté du 20/12/1988 (modifié par l'arrêté du 10/10/00) qui détermine la périodicité, l'objet et l'étendue des vérifications réglementaires des installations électriques
- Arrêté du 4/11/1993 qui est relatif à la signalisation de sécurité et de santé au travail

I.1.3 Les recommandations

En plus de la réglementation, les recommandations de l'association française de l'éclairage (AFE) et les normes AFNOR servent de guides pour l'éclairage des lieux de travail:

- **NF X 35-103** : Principe d'ergonomie visuel applicable à l'éclairage des lieux de travail
- **EN 12665** : Termes de base et critères pour les spécifications des exigences en éclairage
- **NF EN 12464-1** : Eclairage des lieux de travail (détail toutes les recommandations d'éclairage de tous les types de lieux de travail)
- **NF C 71-121** : Méthode simplifiée de prédétermination des éclairagements des espaces clos et classification correspondantes les luminaires. Pour les blocs autonomes d'éclairage de sécurité (BAES) :
 - NF C 1-800 : BAES à lampes à incandescence.
 - NF C 71-801 : BAES à lampes à fluorescence.
 - NF C 71-820 : traite des systèmes de tests automatiques.

Afin de faciliter la compréhension des textes réglementaires, la section suivante explique les termes techniques qui sont fréquemment utilisés dans ce domaine.

I.2 Définition des termes

Les cinq grandeurs fondamentales présentées dans le tableau ci-dessous ont pour but de permettre aux médecins du travail, aux ingénieurs de sécurité et aux agents de prévention des caisses régionales d'assurance maladie (CRAM), d'apprécier l'éclairage des lieux de travail (voies de circulation internes et externes, locaux de travail...) :

Tableau 1 : Grandeurs fondamentales dans le domaine de l'éclairage

Termes	Définitions	Symboles	Unités
Flux lumineux	La quantité d'énergie émise par une source sous forme de rayonnement visible dans toutes les directions par unité de temps.	F	Lumen (lm)
Intensité lumineuse	Mesure de l'importance du flux lumineux émis dans une direction donnée par une source ponctuelle.	I	Candela (cd)
Luminance	Mesure de l'aspect lumineux d'une surface éclairée ou d'une source, dans une direction donnée et dont dépend la sensation visuelle de luminosité. L'appareil de mesure : luminancemètre.	L	cd / m²
Eclairement lumineux	La quantité de lumière reçue sur une surface d'un mètre carré. L'appareil de mesure : luxmètre.	E	Lux (lx), 1 Lux = 1 Lumen / m²
Contraste	Appréciation subjective de la différence d'apparence entre deux parties du champ visuel vues simultanément ou successivement. Il peut s'agir d'un contraste de couleur, d'un contraste de luminance.		

D'autres termes fréquemment utilisés en éclairage sont :

- Facteurs de réflexion d'une surface : rapport du flux lumineux réfléchi au flux incident. Ce facteur précise l'aptitude d'une surface à réfléchir la lumière incidente.
- Plan utile ou plan de travail : c'est la surface de référence constituée par un plan sur lequel s'effectue normalement le travail.

- La température de couleur : elle caractérise la couleur apparente de la lumière émise par une source. Elle est exprimée en KELVIN.

Tableau 2 : Classement des lampes en fonction de la température de leur couleur

Classement des lampes	Température de la couleur en °K
Blanc « Teinte chaude »	TK < 3500
Blanc « Intermédiaire »	3500 < TK < 5000
Blanc « Teinte froide »	TK > 5000

- L'indice de rendu des couleurs : désigné par IRC ou Ra, il indique les aptitudes de la lumière émise par la source à restituer l'aspect coloré de l'objet éclairé.

La valeur de référence est 100. La circulaire du 11 avril 1984 précise que : « l'indice de rendu des couleurs satisfaisant est supérieur à 80, un indice inférieur à 60 ne pouvant convenir qu'à des activités ne nécessitant aucune exigence de rendu des couleurs ». Un bon IRC est supérieur à 80, indispensable dans toutes les activités liées au contrôle des couleurs (peinture, textiles....)

Tableau 3 : Indices de rendu des couleurs et couleur apparente selon l'activité exercée

Groupe de rendu des couleurs	Indice de rendu des couleurs Ra	Couleur apparente	Exemple non exhaustif d'utilisation
1	Ra > = 85	Froides	Industrie textile, industrie de la peinture
		Moyenne	Eclairage des vitrines et des boutiques, hôpitaux
		Chaude	Habitations, hôtels, restaurants
2	70 = < Ra < 85	Froide	Bureaux, écoles, grands magasins, industries de précision (dans les climats chauds)
2	70 = < Ra < 85	Moyenne	Bureaux, écoles, grands magasins, industries de précision (dans les climats tempérés)
		Chaude	Bureaux, écoles, grands magasins, industries de précision (dans les climats froids)
3	Lampes avec Ra < 70, mais avec un rendu des couleurs suffisamment acceptable pour l'utilisation des locaux courant de travail général		Locaux dans lesquels le rendu des couleurs est relativement peu important
S (spécial)	Lampes présentent des propriétés de rendu des couleurs inhabituelles		Applications spéciales

Ainsi, plus la température des couleurs est élevée, plus le niveau d'éclairage doit être élevé.

- Eblouissement :

L'éblouissement peut être :

- **Direct**, quand la source lumineuse est dans le champ visuel ; s'il s'agit d'une source naturelle, le poste de travail doit être protégé du rayonnement solaire gênant.
- **Indirect**, lorsque l'éclairage est réfléchi sur des objets, des surfaces et le plan de travail.

Afin d'éviter cette gêne, il est recommandé d'utiliser des surfaces mates ou des éclairages diffus à l'endroit de la tâche visuelle et même au niveau des sols et des plafonds.

La circulaire du 11 avril 1984 (Commentaires techniques des décrets du 2 août 1983), recommande une luminance moyenne, mesurée dans le champ visuel central du personnel, pour éviter l'éblouissement du personnel.

Cette luminance ne doit pas excéder :

- 3000 cd/m² pour les sources lumineuses (2000 cd/m² dans la norme AFNOR)
- 600 cd/m² pour un plafond, un mur, une fenêtre (500 cd/m² dans la norme AFNOR)

Le rapport entre deux luminances voisines ne doit pas dépasser 50.

En pratique, la gêne sera d'autant plus faible que l'angle compris entre la direction de la source et celle du regard est plus grand (minimum souhaitable 30-40 °).

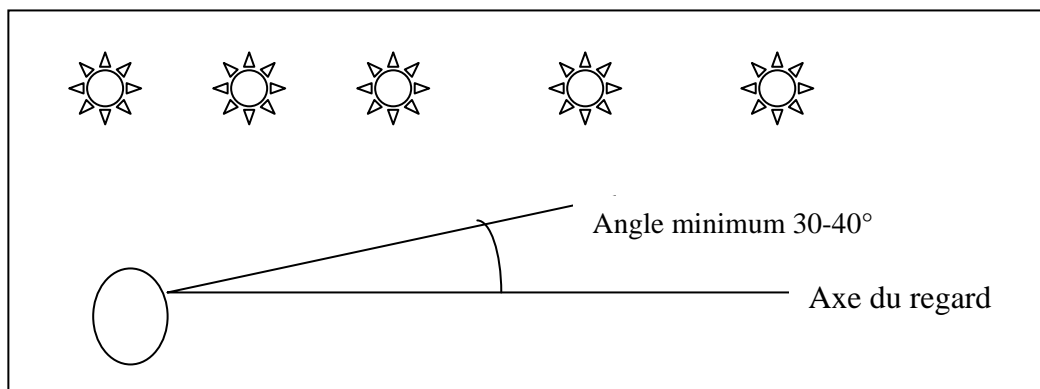


Figure 2 : Angle minimum entre la direction de la source et celle du regard

- Locaux aveugles: locaux ne possédant pas d'ouverture vers l'extérieur. Ils doivent être limités à des locaux non destinés à des postes de travail fixes ou nécessitant des séjours plus bref ou dont la nature de l'activité est incompatible avec la mise en place de baies transparentes permettant la vue sur l'extérieur.
- Eclairage moyen en service : Il correspond à l'éclairage stabilisé produit par une ampoule, soit environ 80% de l'éclairage fourni lors d'une première mise en service
- L'éclairage normal : qui est utilisé en exploitation courante.
- L'éclairage de remplacement : Il permet de poursuivre l'exploitation de l'établissement en cas de défaillance de l'éclairage normal.

Il fait partie de l'éclairage de secours . Il est obligatoire si l'exploitant désire poursuivre ses activités dans son établissement en cas de problèmes sur l'éclairage normal.

Lorsqu'on utilise un éclairage de remplacement comme un éclairage de secours, celui-ci doit être conforme à l'article EC 21 du règlement de sécurité et à la norme NF EN 1838. La défaillance de l'éclairage de remplacement doit entraîner le fonctionnement de l'éclairage de sécurité.

- L'éclairage de sécurité : doit permettre, lorsque l'éclairage normal est défaillant, l'évacuation sûre et facile des personnes vers l'extérieur, ainsi que les manœuvres de sécurité.

L'éclairage de sécurité comporte 3 états :

- L'état de fonctionnement : l'éclairage assure normalement son rôle pour permettre l'évacuation des personnes.
- L'état de veille : l'éclairage est prêt à passer à l'état de fonctionnement à tout moment.
- L'état de repos : l'éclairage est à l'arrêt, désactivé. Cet état est possible seulement pendant une interruption d'exploitation du bâtiment vidé de ses occupants.
- L'éclairage de secours Cet éclairage est prévu pour être utilisé en cas de défaillance de l'alimentation de l'éclairage normal.

II OBJECTIFS TECHNIQUES ET ORGANISATIONNELS

Lors de l'aménagement et la construction des lieux de travail, les acteurs importants sont le chef d'établissement, le maître d'ouvrage et les maîtres d'œuvres. La section suivante reprend les obligations de ces acteurs ainsi que les sanctions encourues pour leur non respect. On y explique aussi certains cas particuliers dans lesquels les dispositions générales de la réglementation ne sont pas applicables.

II.1 Les responsabilités

II.1.1 Les obligations du chef d'établissement

Le chef d'établissement doit respecter les dispositions du code du travail. Il doit notamment s'assurer que :

- Le niveau d'éclairage soit suffisant, adapté non gênant et qu'il permette de déceler les risques perceptibles par la vue afin d'éviter la fatigue visuelle et les affections de la vue. Il existe des valeurs minimales d'éclairage imposées par le code du travail pour différents types de locaux. Ces valeurs sont citées ci-dessous :

Tableau 4 : Valeurs minimales d'éclairage général par type de travail d'après le décret n°83-721 du 2 août 1983 et la norme NF X 35-103

Type de travail	Décret	NF X 35-103
Les voies de circulation intérieure	40 Lux	100 à 103 Lux
Les escaliers et entrepôts	60 Lux	150 Lux
Les locaux de travail, vestiaires et sanitaires	120 Lux	300 Lux
Les locaux aveugles affectés à un travail permanent	200 Lux	
Les zones et voies de circulation extérieure	10 Lux	30 Lux
Les espaces extérieurs où sont effectués des travaux à caractère permanent	40 Lux	75 Lux

Ces valeurs doivent être respectées en tenant compte de la répartition inégale de la lumière au niveau du plan de travail, aux facteurs entraînant la réduction de l'éclairage dans le temps (tels l'empoussièrement des luminaires) et à la fréquence de l'entretien qui sera effectué.

- L'éclairage soit adapté à la zone de travail. Les valeurs d'éclairement minimal à respecter selon le type d'activité sont les suivants :

Tableau 5 : Valeurs d'éclairement minimal à respecter selon le type d'activité

Eclairement minimal	Type d'activité
200 lux	Mécanique moyenne, dactylographie, travaux de bureau
300 lux	Travail de petites pièces, bureau de dessin, mémographie
400 lux	Mécanique fine, gravure, comparaison de couleurs, dessins difficiles, industrie du vêtement
600 lux	Mécanique de précision, électronique fine, contrôles divers
800 lux	Tâche très difficile dans l'industrie ou les laboratoires

- La priorité soit donnée à l'éclairage naturel tout en tenant compte du fait que pour les anciens locaux, l'exigence d'une lumière naturelle soit limitée au domaine du possible, c'est à dire, sans modification des locaux existants (*circulaire du 14 avril 1995*). Toutefois pour tout nouvel aménagement, il est impératif de ne pas aggraver la situation en terme d'éclairage, de limiter le nombre de postes fixes en zones aveugles et proposer des mesures compensatoires telles que la qualité de l'installation d'éclairage.

- Les travailleurs soient protégés de l'éblouissement et de la fatigue visuelle par
 - La conception des ouvertures.
 - Des protections fixes ou mobiles appropriées.
 - La limitation des rapports d'éclairement entre la zone de travail et l'éclairement général.
 - La protection contre une forte luminance ou des rapports de luminance trop importants entre surfaces voisines (dans le champ visuel central de l'observateur, la luminance d'une source lumineuse ne devra pas excéder 3000 cd/m², la luminance d'une surface lumineuse de grande dimension de devra pas excéder 600 cd/m² et la luminance d'une surface lumineuse ne devra pas dépasser 50 fois la luminance des surfaces sur lesquelles elle apparaît avec une tolérance à 80 fois dans le cas de grand volume dont le niveau d'éclairement ne dépasse pas 300 lux. (Pour des cas très spécifiques, il est utile de se référer à la norme NF X 35-103).

- La qualité de rendu des couleurs soit en rapport avec l'activité prévue. En règle générale, un indice de 80 assure un éclairage agréable. Les indices requis pour certaines activités en particuliers sont pris en compte dans la circulaire du 11 avril 1984.
- Les phénomènes de fluctuation de lumière ne soient pas perceptibles notamment en s'assurant d'un entretien régulier et approprié du matériel d'éclairage ou en mettant en déphasage l'alimentation des lampes tout en assurant leur revêtement rémanent.
- Les travailleurs soient protégés des effets thermiques des rayonnements et des risques de brûlure par contact en installant les sources d'éclairage dans des endroits de manière à supprimer tout risque (il existe des températures limites acceptables pour les effets thermiques dans les normes NF C 71-110 et NF C 71-111).
- L'accès aux organes de commande d'éclairage soit facile en les dotant de voyants lumineux (sûrs et durables), quand ils sont dans des locaux aveugles, et en les plaçant au voisinage des issues ou des zones de circulation.
- Le matériel d'éclairage soit entretenu aisément et régulièrement et que les règles d'entretien soient consignés dans un document communiqué aux membres du CHSCT (Comité d'Hygiène de Sécurité et des Conditions de Travail).
- L'établissement dispose d'un éclairage de sécurité permettant d'assurer l'évacuation des personnes en cas d'interruption accidentelle de l'éclairage naturelle.

II.2 L'éclairage de sécurité

Il a pour but d'assurer la sécurité des personnes qui évacuent une zone ou qui tentent de terminer un travail dangereux avant de quitter les lieux.

Une bonne visibilité est nécessaire afin d'évacuer. Il faut donc prévoir une lumière dans la totalité de l'espace. Les signalisations situées à toutes les sorties destinées à être utilisées en cas d'urgence ainsi que le chemin doivent être éclairées de manière à indiquer correctement et sans ambiguïté le chemin jusqu'à une zone sûre.

Un luminaire de sécurité (conforme à la norme EN 60598-2-22) doit être situé de manière à fournir un éclairage approprié près de chaque porte de sortie, aux endroits où un risque potentiel est présent et à l'emplacement des instruments de sécurité.

Il faut prendre en compte :

- **L'éclairage de balisage ou la signalisation lumineuse d'orientation des issues (article EC 7 du règlement de sécurité contre les risques d'incendie et la norme NF EN 1838) :**

Il doit permettre à toute personne d'accéder à l'extérieur.

Il est obligatoire dans tous les locaux recevant plus de 50 personnes. A l'aide de foyers lumineux, il assure la reconnaissance des obstacles et les indications de changements de direction. Ces appareils peuvent également contribuer à l'éclairage d'ambiance.

Pour les chemins d'évacuation, l'éclairage le long d'une ligne centrale ne doit pas être inférieur à 1 lx et doit être éclairé à 50%.

L'éblouissement doit être maintenu à un niveau le plus faible en limitant l'intensité lumineuse car l'éclat des luminaires peut éblouir et empêcher de voir la signalisation ou certains obstacles.

- **L'éclairage d'ambiance ou éclairage antipanique (article EC 7 et 8 du règlement de sécurité et la norme NF EN 1838) :**

Il permet d'éviter tout risque de panique, permet de fournir un éclairage d'identifier et d'atteindre les chemins d'évacuation.

Il est obligatoire lorsque l'effectif est supérieur à 100 personnes par local ou supérieur à 50 personnes en sous-sol.

Il doit être de 5 lm/m² et de 0,5 lx, et réparti uniformément sur toute la surface du local pour permettre une bonne visibilité. Il peut être alimenté soit par une source centrale de sécurité, soit par des blocs autonomes d'éclairage de sécurité (BAES).

- **L'éclairage des emplacements de travaux dangereux (la norme NF EN 1838) :**

Il permet de garantir la sécurité des personnes travaillant dans des zones potentiellement dangereuses. Cet éclairage permet un bon déroulement des procédures d'arrêt pour la sécurité des personnes se trouvant dans ou en dehors de cette zone.

Dans les emplacements de travaux dangereux, un éclairage doit être maintenu. Il ne doit pas être inférieur à 10% de l'éclairage exigé, sans toutefois être inférieur à 15 lx.

Aucun effet stroboscopique n'est autorisé et l'éblouissement perturbateur doit être maintenu à niveau le plus faible en limitant l'intensité lumineuse.

La durée minimale de cet éclairage doit être fonction du risque potentiel des personnes.

II.1.2 Les obligations du maître d'ouvrage

Le maître d'ouvrage est la personne physique ou morale pour le compte de laquelle l'ouvrage est réalisé. Le maître d'ouvrage définit les objectifs avant de faire appel à un maître d'œuvre. Les dispositions qui lui sont applicables, sauf en cas d'incompatibilité des dispositions par rapport à l'activité, sont les suivantes :

- Utiliser la lumière naturelle pour les locaux affectés au travail.
- Installer à hauteur des yeux des baies transparentes (dimensionnées et positionnées selon les recommandations de l'article R. 232-7-2 et de la circulaire du 11 avril 1984. En effet, cette circulaire recommande pour des zones occupées par le personnel que les surfaces vitrées représentent au moins un quart de la superficie de la plus grande paroi du local donnant sur l'extérieur) donnant sur l'extérieur.

Pour le maître d'ouvrage il existe des exemptions aux dispositions du code du travail pour :

- Des activités incompatibles avec la lumière telles le développement en photographie, le stockage de marchandise ou le dépôt en chambre forte.
- Le réaménagement ou la restructuration d'anciens locaux.
- Les constructions au cœur d'îlots urbains.

Il faut souligner que le maître d'ouvrage tout comme le chef d'établissement doit respecter les dispositions du code du travail citées dans la section II.1.1.

Le maître d'ouvrage transmet un document au chef d'établissement qui à pour but :

- D'informer l'employeur des conditions d'éclairage prévues et de l'entretien de l'installation à prévoir.
- De préciser les parties de l'installation réalisées respectivement par :
 - Le maître d'ouvrage ayant entrepris la construction
 - Les maîtres d'ouvrages ayant procédé à des aménagements
 - L'employeur

II.2 Cas particuliers

Les dispositions du code du travail explicitées dans les sections précédentes ne s'appliquent pas à tous les types de travaux et la section qui suit est un récapitulatif de certains cas particuliers :

- Les travaux de chantier (Articles applicables : R. 232-7-3, R. 232-7-4, R. 232-7-5, R. 232-7-7).
- Les travaux sur écrans de visualisation (Circulaire du 11 avril 1984 précisant un niveau d'éclairement général de 300 lux et une bonne orientation de l'écran par rapport à la prise de jour ainsi qu'un revêtement des parois qui ne soit pas brillant).
- Les établissements agricoles (Dans des lieux où l'éclairage est contre-indiqué en raison de techniques agricoles pratiquées, l'article à appliquer est le R. 232-13-3).
- Les locaux aveugles et locaux en sous-sol (Ces locaux ne doivent en aucun cas être destinés au travail permanent. Ces locaux doivent être munis de 200 lux au minimum).
- L'utilisation des machines et équipements de travail (Article R. 232-23).
- La conception de machines et équipements :
 - Pour les machines et équipements de travail, un éclairage incorporé doit être fourni dans le cas où l'absence d'un tel dispositif peut créer un risque. Cet éclairage doit aussi faciliter l'inspection des équipements intérieurs.
 - Les constructeurs de machines mobiles doivent s'assurer que les machines automotrices destinées à être utilisées dans des lieux obscurs, comportent un dispositif d'éclairage adapté au travail à faire.

II.3 Les sanctions pénales

Les résultats des relevés photométriques, qui doivent être faits par des organismes agréés, doivent être consignés sur un document que le chef d'établissement communique à l'inspecteur du travail dans les 15 jours suivants la date du relevé. Le contrôle de l'inspection du travail portera notamment sur l'installation et l'aménagement intérieur des locaux de travail. (Article L 232-2 du code du travail).

Les pénalités en matière d'hygiène et de sécurité figurent aux articles L 263-1 et suivants et articles R 263-1 et suivants du code du travail.

Les chefs d'établissements, directeurs ou gérants ou préposés qui, par leur faute personnelle, ont enfreint ces dispositions sont punis d'une amende de 3 750€ L'amende est appliquée autant de fois qu'il y a de salariés de l'entreprise concernée par la ou les infractions relevées dans le procès verbal. En cas d'infraction, le jugement fixe le délai dans lequel sont exécutés les travaux de sécurité et de salubrité imposés par les dites dispositions. Ce délai ne pourra pas excéder dix mois.

En ce qui concerne les pénalités pour les maîtres d'ouvrages, elles sont prévues à l'article L 263-2 du code du travail. Le maître d'ouvrage qui a fait construire ou aménager un ouvrage en violation de ces obligations encourt les sanctions prévues par le code de l'urbanisme (Article L 480-4 et L 480-5)

III REALISATION TECHNIQUE ET GESTION DES COUTS

III.1 Les technologies d'éclairage et l'efficacité énergétique

Les sources lumineuses artificielles se répartissent en trois grandes familles technologiques :

- Les lampes à incandescence : elles émettent de l'énergie lumineuse par le biais d'un filament métallique porté à incandescence par la traversée d'un courant électrique.
- Les lampes fluorescentes et les lampes à décharge : La lumière est produite par la décharge d'un gaz excité par un courant électrique émis entre deux électrodes (phénomène que l'on peut comparer à celui de la foudre). Le rayonnement émis est directement visible pour les lampes à décharge, alors qu'il résulte d'une transformation d'un rayonnement ultraviolet par le biais de poudres fluorescentes, pour les lampes fluorescentes.

L'origine de l'éclairage à incandescence remonte au 19ème siècle avec la mise au point par Thomas Edison d'une lampe à filament de carbone en 1879. L'apparition de la lampe à décharge peut être située à peu près à la même époque, quant à la première lampe fluorescente, elle a été réalisée par A. Claude en 1936.

Depuis cette période, la technologie a considérablement évolué. L'efficacité lumineuse de la lampe d'Edison était de 1,5 lm/W, alors que certaines lampes dépassent aujourd'hui 150 lm/W. Le progrès technique dans l'éclairage a fait évoluer les caractéristiques techniques des sources lumineuses sur trois axes principaux :

- Accroissement régulier des performances énergétiques.
- Amélioration de la qualité de la lumière émise.
- Extension des possibilités d'utilisation (miniaturisation, élargissement des gammes de puissance, possibilités de faire varier la puissance d'une même source entre autres).

Cette dynamique caractérise l'évolution du secteur de l'éclairage depuis un siècle et continuera certainement à orienter le changement technique dans les années à venir, notamment en ce qui concerne l'amélioration des performances énergétiques.

III.1.1 Les lampes à incandescence

1 Les lampes à incandescence standard

La lampe à incandescence standard se compose d'un filament de tungstène enfermé dans une capsule de verre translucide vide ou remplie d'une combinaison de gaz neutres. Lorsqu'il est traversé par un courant électrique, le filament est porté à incandescence et émet un rayonnement visible à dominante rouge (température de couleur : 2700 °K).

Ces lampes assurent aujourd'hui la quasi-totalité des besoins d'éclairage dans le résidentiel, et une partie importante des besoins dans le tertiaire. Elles sont disponibles dans une gamme de puissance très étendue (de quelques watts jusqu'à plusieurs centaines de watts), avec des culots standards à vis ou baïonnette, et dans de multiples formes et apparences (claire, dépolie, opale, carrée, globe, flamme, etc.).

S'agissant d'un produit banalisé, leur prix de vente est très peu élevé, de l'ordre de quelques euros pour les ampoules standard à quelques dizaines d'euros pour les ampoules décoratives.

De nombreuses améliorations ont été apportées à la lampe à incandescence depuis la lampe d'Edison (tungstène, double spiralage du filament, introduction de gaz inertes,...) qui ont amélioré sa durée de vie et fait passer son efficacité lumineuse de 1-2 lm/W à 10-15 lm/W. La résistance du filament à l'évaporation ne permettait pas d'aller au delà de cette limite, une augmentation de la température étant nécessaire pour atteindre une plus grande efficacité mais elle se traduisait par une réduction en simultanée de la durée de vie.

L'introduction des cycles halogènes a permis de contourner cette double contrainte et d'accroître les performances lumineuses et la durée de vie des lampes.

2 Les lampes tungstène-halogènes

Les lampes tungstène-halogènes sont des lampes à incandescence dont le filament fonctionne à plus haute température sans entraîner une accélération de l'évaporation grâce à l'introduction de composés halogènes qui permettent la régénération du filament en continu.

Le cycle halogène présente un double avantage :

- Un accroissement de la température de fonctionnement du filament donc une amélioration du rendement lumineux (20 - 25 lm/W).
- Une réduction de l'évaporation du filament donc un accroissement de la durée de vie de la lampe avec maintien des performances (2000 heures environ).

L'augmentation de la température de fonctionnement du filament se traduit aussi par une modification de la température de couleur, et une lumière plus blanche que l'éclairage classique à incandescence.

A l'origine ces lampes n'étaient disponibles qu'en deux standards :

- Les halogènes "crayons" (basse tension/forte puissance) qui associés à des luminaires de forte puissance et modulable, ont popularisé l'éclairage halogène dans le secteur résidentiel.
- Les lampes halogènes très basse tension (TBT) de petite taille utilisées en éclairage d'accentuation.

L'une et l'autre nécessitaient des luminaires spécifiques, pour des raisons de sécurité ou pour l'intégration de l'alimentation. Depuis peu, les lampes halogènes sont disponibles avec des culots standards (lampes halogènes à double enveloppe) et peuvent se substituer aux ampoules à incandescence classiques.

Enfin, pour être complet, il convient de mentionner les recherches portant sur la mise au point d'une nouvelle lampe à incandescence (probablement de type halogène) dont les performances énergétiques seraient au moins de 30% supérieures à celles de l'incandescence, la durée de vie de l'ordre de 3000 heures, pour un prix qui resterait du même ordre de grandeur que celui des lampes halogènes (N. Borg, 1996).

Tableau 6 : Comparaison des lampes à incandescence standards et halogénées

	Incand. stand. 100 W	Halogène 100 W	Halogène TBT 50 W ³
Flux nominal (lm)	1350	1600	
Efficacité lumineuse (lm/W)	13,5	16	20 - 22
Durée de vie (heures)	1000	2000	3000
Température de couleur (°K)	2720	2830	3100
Indice de Rendu de Couleur	100	100	100

III.1.2 Les lampes fluorescentes

1 Les tubes fluorescents

Le principe de l'éclairage fluorescent est celui de la décharge dans une vapeur de mercure traversée par un courant électrique, décharge produisant un rayonnement peu visible principalement situé dans l'ultraviolet. Une poudre luminescente située sur l'enveloppe transforme ce rayonnement UV en lumière visible.

Pour fonctionner, les tubes fluorescents nécessitent un appareillage complémentaire (starter, ballast) contenu dans le luminaire qui permet d'amorcer et d'entretenir la décharge. Les tubes fluorescents ont une efficacité lumineuse très supérieure à celles des lampes à incandescence (50 - 90 lm/W) et une durée de vie de l'ordre de 10 000 heures.

La qualité de la lumière produite dépend essentiellement des poudres fluorescentes déposées sur l'enveloppe. Les premières poudres permettaient d'atteindre une bonne efficacité énergétique mais au détriment de la qualité de la lumière produite, ce qui a orienté l'éclairage fluorescent vers les usages où seule l'intensité lumineuse importait (industrie notamment). Des progrès sensibles ont été enregistrés dans ce domaine depuis la fin des années 70, avec la mise au point de poudres à trois bandes et la diminution du diamètre des tubes, qui permettent d'atteindre aujourd'hui 100 lm/W, sans que ces progrès se fassent au détriment de la qualité de la lumière.

Les tubes fluorescents sont disponibles dans plusieurs qualités, principalement, les tubes “de luxe” à rendu de couleur élevé (IRC supérieur à 85) dont l'efficacité lumineuse est proche de 60 lm/W et les tubes “économiques” dont le rendement dépasse 80 lm/W mais pour un IRC situé entre 50 et 85.

2 Les lampes fluorescentes compactes

La lampe fluorescente compacte (LFC) ou lampe basse consommation fonctionne selon le même principe que les tubes fluorescents rectilignes. Elle bénéficie de ce fait des caractéristiques propres à l'éclairage fluorescent, efficacité lumineuse (40 - 60 lm/W) et longue durée de vie (environ 8 000 heures), avec deux avantages considérables sur les tubes fluorescents :

- la compacité.
- l'intégration des starter et ballast dans le culot de la lampe.

Ces deux dernières caractéristiques permettent de remplacer une lampe à incandescence par une LFC sans modification du luminaire ou de l'alimentation électrique, et ainsi améliorer sensiblement l'efficacité lumineuse : une LFC de 20 W produit un flux lumineux de 1200 lumens comparable à celui d'une ampoule à incandescence de 80 - 100 W.

On distingue deux grandes familles de LFC, les lampes de substitution et les lampes d'intégration.

Les lampes de substitution sont conçues pour remplacer des lampes à incandescence, principalement dans le secteur résidentiel. Elles présentent un culot identique à celui des sources à incandescence (vis ou douille) et intègrent les systèmes d'allumage nécessaires à leur fonctionnement.

Les lampes d'intégration à ballast séparé sont destinées prioritairement au secteur tertiaire, et permettent de remplacer le seul tube en fin de vie. La lampe ne comprend qu'un tube fluorescent qui s'adapte directement sur le luminaire par le biais d'un culot spécifique, le ballast étant intégré dans le luminaire.

Les premières LFC ont été commercialisées en Europe par Philips en 1980. Depuis, elles ont beaucoup évoluées ; les premières lampes étaient volumineuses et lourdes, et nécessitaient plusieurs minutes pour atteindre leur pleine puissance, avec parfois des phénomènes de

scintillement. L'encombrement des lampes actuelles a été sensiblement réduit de telle sorte qu'une partie des problèmes de compatibilité avec les luminaires existants devrait disparaître. De même l'introduction des ballasts électroniques en remplacement des ballasts électromagnétiques a amélioré les performances globales, réduit le poids, diminué le délai d'allumage et supprimé les phénomènes de scintillement.

Les ballasts électroniques ainsi que les progrès sur les poudres fluorescentes ou la miniaturisation des tubes sont des éléments décisifs des progrès techniques enregistrés sur les LFC depuis 15 ans, même si les premiers ont suscité certaines inquiétudes auprès des compagnies d'électricité. D'autres améliorations sont théoriquement encore possibles qui pourraient placer à terme les LFC dans une plage d'efficacité lumineuse de 70 à 90 lm/W déjà atteinte pour les tubes rectilignes. Il convient enfin de signaler l'apparition il y a quelques mois de la lampe à induction dont la diffusion est encore confidentielle mais qui pourrait constituer une voie de développement prometteuse de la famille des lampes fluorescentes. Du fait de l'absence d'électrodes, la durée de vie de la lampe à induction peut être sensiblement allongée (les constructeurs annoncent 10 000 heures), et surtout, la conception de l'ampoule ne nécessite plus l'utilisation d'un tube plus ou moins miniaturisé et peut donc se rapprocher de celle de l'ampoule à incandescence.

Seuls, General Electric et Philips commercialisent pour l'instant les lampes à induction, en très faibles quantités et pour des usages très ciblés. Cette lampe pourrait bénéficier d'un avantage sur la LFC par la possibilité de s'affranchir des contraintes d'encombrement, mais sa diffusion se heurtera probablement aux mêmes difficultés (appréciations des consommateurs sur la qualité de la lumière fluorescente) avec un handicap de prix encore très important.

Tableau 7 : Comparaison des caractéristiques des lampes à incandescence standard et LFC. Source Lux et catalogue Philips

	Incandescence standard	Philips SL LFC (1980)	Philips PL élec. LFC(1995)
Puissance (W)	75	18	15
Eff. lumineuse (lm/W)	13	50	60
IRC	100	85	85
Temp. de couleur (°K)	2600	3000	2700
Longueur (mm)	105	175	160
Diamètre (mm)	60	64	38
Poids (g)		420	87

III.1.3 Les lampes à décharge

Les lampes à décharge se répartissent en deux grandes familles, la décharge basse pression à laquelle appartiennent les lampes fluorescentes, et la décharge haute pression qui sera décrite ici. La distinction entre les deux familles tient au fait que dans la décharge haute pression, le rayonnement émis par le gaz contenu dans l'ampoule se situe pour l'essentiel dans le visible, et qu'il ne nécessite donc pas de conversion par le biais de poudres luminescentes.

Les lampes à décharge à haute pression, que l'on appellera lampes à décharge (HID en anglais), sont les sources qui présentent aujourd'hui les plus grandes efficacités lumineuses (80 - 100 lm/W), exception faite des lampes au sodium basse pression. Quoiqu'elles soient disponibles dans une gamme de puissance de plus en plus étendue, les lampes à décharge sont pour l'instant encore destinées aux applications qui requièrent de fortes (ou très fortes) puissances et elles imposent certaines contraintes en matière d'alimentation électrique, montée en puissance, réallumage, sécurité, etc.

Malgré ces caractéristiques qui en limitent l'usage à des applications spécifiques, les lampes à décharge sont évoquées ici car des progrès récents rendent possible ou envisageable une extension progressive vers les applications de plus faibles puissances, compatibles avec les utilisations dans le résidentiel et le tertiaire.

1 Les lampes à vapeur de mercure

Les lampes à vapeur de mercure (aussi appelés ballons fluorescents) fonctionnent selon un principe semblable à celui des tubes fluorescents, mais la vapeur de mercure est sous une pression élevée. Une partie du rayonnement est émis directement par le gaz et une autre par l'intermédiaire des poudres fluorescentes.

Ces sources ont une durée de vie importante, mais une efficacité lumineuse limitée (40 à 60 lm/W). Elles sont disponibles dans une gamme de puissance de 50 à 1000 W, et principalement destinées à l'éclairage public extérieur. Du fait de la concurrence des autres sources à décharge (iodures métalliques et sodium) les lampes à vapeur de mercure approchent aujourd'hui de l'obsolescence.

2 Les lampes aux halogénures métalliques

Les lampes aux halogénures métalliques utilisent la technologie des lampes à décharge au mercure mais avec des performances améliorées provenant de l'addition de composés halogènes (iodures). Ceux-ci entraînent un cycle de régénération qui permet d'obtenir des quantités et qualités de lumière supérieures à ce que produirait le mercure seul.

L'efficacité lumineuse des lampes aux halogénures métalliques est de l'ordre de 80 à 100 lm/W, pour des gammes de puissance courantes situées entre 250 et 1000 W. De nouvelles lampes de faible puissance sont apparues récemment (moins de 100 W et jusqu'à 35 W) principalement destinées à l'éclairage d'accentuation (vitrines, magasins, salles d'exposition), qui peuvent laisser supposer une diffusion ultérieure en direction du tertiaire et résidentiel en complément des sources incandescentes ou halogènes.

3 Les lampes au sodium haute-pression

Les lampes à vapeur de sodium présentent une efficacité lumineuse extrêmement élevée, le maximum étant atteint avec le sodium basse pression (près de 200 lm/W) pour un rayonnement monochromatique jaune. En accroissant la pression de vapeur, on obtient une très nette amélioration du rendu de couleur, mais au détriment de l'efficacité lumineuse.

A haute pression, le maximum d'efficacité (100 - 120 lm/W) est obtenu pour un IRC de l'ordre de 20, les lampes à décharge couramment utilisées en éclairage extérieur ont une

efficacité de 90 lm/W pour un IRC de 60, et les nouvelles lampes "blanches", un IRC supérieur à 70 mais au prix d'une efficacité lumineuse qui devient inférieure à 60 lm/W.

Elles sont en revanche disponibles dans de faibles puissances (moins de 100 W) et peuvent constituer une source de substitution pour l'incandescence ou l'halogène mais uniquement pour l'instant en usage professionnel.

Les technologies d'éclairage sont nombreuses. Un récapitulatif des principales caractéristiques techniques de chacune est donné dans le tableau 3.

Tableau 8 : Caractéristiques techniques des sources lumineuses

Source : notices techniques fabricants

Lampes	IRC	Efficacité lumineuse (lm/W)	Durée de vie économique (heures)
Incandescence			
Standard	100	10 - 15	1000
Tungstène halogène			
BT	100	15 - 20	2000
TBT	100	15 à 25	2000 - 4000
Fluorescence			
Tube rectiligne			
Standard	60 - 75	50 - 85	8000
IRC amélioré	>90	50 - 65	
Haut rendement	85	70 - 90	8000
LFC			
Ballast magnétique	85	50	8000
Ballast électronique	85	45 - 65	8000
A décharge			
Halogénures métal.	70 - 95	65 - 100	6000
Vapeur de mercure HP	30 - 60	40 - 60	20000
Sodium HP			
Standard	20	80 - 130	20000
IRC élevé	65	60 - 95	15-20000
Sodium BP	monoch.	100 - 200	12000

III.2 QUELLE LAMPE POUR QUELLE APPLICATION ?

Le choix de la lampe et des luminaires dépend à la fois de l'activité exercée et des dimensions du local à éclairer.

Le tableau situé en page suivante offre un résumé de ce qui peut s'appliquer pour l'éclairage en industrie.

Tableau 9 : Comparaison des lampes et luminaires utilisés en industrie

APPLICATIONS	LAMPES	PUISSANCE EN WATTS (W)	TEMPÉRATURE DE COULEUR EN KELVINS (K)	IRC	EFFICACITÉ LUMINEUSE EN LUMEN PAR WATT (lm/W)	DURÉE DE VIE ÉCONOMIQUE (HEURES)	LUMINAIRES
<ul style="list-style-type: none"> • Ateliers et autres locaux industriels courants, d'une hauteur inférieure à . - 8 m pour un luminaire à rendement standard - 12 pour haut rendement • Bureaux administratifs, grandes surfaces • Salles blanches 	Tubes fluorescents haut rendement ou Tubes fluos 16 mm électroniques	1% à 58 14 à 80	2 700 à 6500	> 85	75 à 103 96 à 104	10 000 à 14 000 (18 000 à 20 000 avec ballast électronique) 16 000 à 20 000	De la réglette simple, réflecteur industriel, au module encastré étanche à optique très basse luminance pour salles blanches
	Halls industriels et locaux à partir de 8 m de hauteur	Iodures (ou halogénures) métalliques Vapeur de mercure (ballon fluorescent)	35 à 2 000 125 à 400	3 700 à 6 100 3 300 à 4 300	65 à 93 33 à 60	54 à 120 32 à 60	6 000 à 10 000 8 000 à 12 000
Locaux de grande hauteur, stockage, hangars	Sodium haute pression	50 à 1 000	2000 à 2 500	25 à 80	46 à 150	10 000 à 18 000	Armature à décharge
Locaux où l'accès aux luminaires est difficile (nécessité de stopper la fabrication par exemple)	Induction	55 à 165	2 700 à 4 000	> 80	60 à 80	60000	Luminaire spécifique

III.3 Différentes sources d'éclairage de sécurité

III.3.1 L'éclairage de sécurité à source centrale

Dans les systèmes à source centrale, une source unique pour un établissement alimente en cas de besoin des luminaires de sécurité.

L'installation se compose des éléments suivants :

- la source centrale.
- le tableau de sécurité.
- les canalisations de liaisons.
- les dispositifs de raccordement et de dérivation.
- les luminaires de sécurité : ils doivent avoir des caractéristiques en concordance avec la source centrale par laquelle ils sont alimentés. Ces luminaires (pour la source centrale) font l'objet de normes NF EN 60598-2-22 et C 71-802.

On distingue également 2 types de sources :

- les batteries d'accumulateurs.
- les groupes électrogènes.

Ces sources centrales doivent être capables d'alimenter toutes les lampes dans les conditions les plus défavorables susceptibles de se présenter en exploitation, pendant un temps jugé nécessaire pour la sortie ou l'évacuation des personnes, avec un minimum de 1 heure. Elles peuvent être utilisées comme sources de remplacement si certaines conditions de fiabilité sont remplies (l'article EC 9 du règlement de sécurité).

III.3.2 Les Blocs Autonomes d'Eclairage de Sécurité : BAES

Un BAES est un appareil utilisant une ou plusieurs lampes (à incandescence ou à fluorescence) et contenant une batterie d'accumulateurs. Ces blocs peuvent être simples ou composés. Un BAES est dit permanent quand il assure un éclairage à l'état de veille.

Il existe 2 types de BAES par rapport à leur destination :

- BAES pour l'éclairage de balisage,
- BAES pour l'éclairage d'ambiance

Tableau 10 : Lampes utilisés pour les BAES de balisage et d'ambiance

	BAES pour l'éclairage de balisage	BAES pour l'éclairage d'ambiance
Lampes utilisées	Incandescence	
	Fluorescent de type permanent	Fluorescent de type permanent
	Fluorescent de type non permanent (conforme à la norme NF C 71-820)	Incandescence Autres sources lumineuses
	Autres sources mais de type SATI ¹ (conforme à la norme NF C 71-820)	

1 Conformité

Pour l'éclairage de sécurité à source centrale, la conformité aux normes est attestée par la marque : NF AEAS LSC².

En ce qui concerne les BASE, la conformité aux normes est attestée par la marque : NF AEAS BAES. Cette marque qualité a intégré dans les normes avec un numéro d'homologation commençant par T01XXX :

- pour les BAES d'évacuation, la plaque signalétique porte : BAES/évacuation « NF AEAS » T01XXX,
- BAES d'évacuation de type SATI, la plaque signalétique porte : BAES/évacuation « NF Performance SATI » T01XXX,
- pour les BAES d'ambiance, la plaque signalétique porte : BAES/ambiance « NF AEAS » T01XXX.

¹ SATI : Système Automatique des Tests Intégrés

² LSC : Luminaires pour Source Centrale

III.3.3 La maîtrise des énergies dans l'éclairage : une approche globale

L'efficacité énergétique d'une installation d'éclairage dépend de différents facteurs. Le rendement des sources lumineuses qui la composent en est un élément important, mais la performance des autres composants tels que les luminaires et les ballasts, ne doit pas non plus être négligée.

De plus, les composantes d'une installation d'éclairage peuvent être individuellement performantes sans constituer pour autant une réponse efficace à un besoin d'éclairage. Il faut pour cela que le système d'éclairage valorise au mieux les apports de lumière naturelle disponible, qu'il tienne compte de la nature et de la localisation des tâches à accomplir (intensité lumineuse, choix entre des sources localisées ou générales), et qu'il s'adapte aux conditions d'occupation des locaux (horloges, détecteurs de présence).

Ainsi, la conception ou la rénovation d'une installation d'éclairage dans une perspective d'amélioration du confort visuel et de maîtrise des dépenses énergétiques relève d'une approche globale qui débute par l'analyse des besoins d'éclairage, maximise les apports de lumière naturelle, adapte le nombre et l'intensité des sources lumineuses à la fonction, optimise l'efficacité des différents composants du système, et éventuellement améliore la gestion des apports de lumière artificielle par le biais de systèmes de programmation ou de détection.

Nous présentons ci-après quelques uns des moyens techniques permettant d'améliorer l'efficacité énergétique d'une installation d'éclairage.

III.3.4 La gestion des apports de lumière ou l'éclairage intelligent

L'amélioration des performances énergétiques de l'éclairage, particulièrement dans les secteurs industriel et tertiaire, est liée à l'introduction de nouvelles sources lumineuses plus efficaces, mais aussi à une meilleure utilisation des sources existantes.

Trois approches complémentaires permettent d'atteindre ce résultat :

- Optimiser les apports de lumière naturelle pour retarder le recours aux sources artificielles, par la conception architecturale, l'amélioration des systèmes d'occultation des ouvertures, la possibilité de moduler les apports solaires, etc.
- Adapter les puissances lumineuses utilisées à la quantité de lumière réellement nécessaire, en introduisant des systèmes qui permettent de réduire la puissance des sources lumineuses, par exemple, ou en réduisant la puissance des sources centrales au profit de sources localisées de moindre puissance.
- Réduire les apports de lumière artificielle lorsque l'occupation des locaux ne le nécessite pas, en recourant notamment aux horloges et systèmes de programmation par zones, aux détecteurs automatiques de présence ou aux variateurs crépusculaires,... Dans les secteurs industriel et tertiaire, où une partie de la fonction éclairage est déjà assurée par des sources lumineuses efficaces (fluorescence ou décharge à haute intensité), les économies d'énergie à attendre de l'introduction de nouvelles sources sont moins importantes que dans le résidentiel.

Les gains enregistrés récemment sur les tubes fluorescents rectilignes (diminution du diamètre) et la généralisation des ballasts électroniques offrent néanmoins des perspectives importantes sur la fluorescence. La systématisation de démarches globales de la fonction éclairage intégrant apports de lumière naturelle, adaptation aux besoins des utilisateurs et à l'occupation des locaux, constitue l'autre voie prometteuse pour ces deux secteurs.

1 Les luminaires

Les luminaires jouent plusieurs rôles dans la fonction éclairage : support pour l'alimentation électrique et pour la lampe, protection de l'utilisateur contre le rayonnement direct, orientation / concentration du flux lumineux produit par la source, et bien entendu, un rôle esthétique.

Les performances de la source lumineuse ou du système d'alimentation ne déterminent pas seules l'efficacité d'un système d'éclairage qui dépend de la quantité de lumière finalement disponible.

Le luminaire dans lequel est installé la source lumineuse participe donc directement à l'efficacité de l'ensemble et notamment :

- la forme de l'abat-jour qui oriente et réfléchit la lumière émise par la source (souvent prévus à l'origine pour des ampoules à incandescence mais non optimisés pour les LFC, par exemple)
- la position de l'ampoule dans le système d'éclairage (l'orientation des ampoules dans les lampes à poser est peu favorable aux LFC qui diffusent principalement vers le haut).
- la plus ou moins grande transparence des matériaux utilisés pour diffuser le flux lumineux (verres plus ou moins dépolis, plastiques) qui influe sur la quantité de lumière transmise.

Pour autant, les rendements des luminaires sont peu pris en compte dans les secteurs industriel et tertiaire, et ce critère est à peu près totalement absent des cahiers des charges des luminaires à destination du résidentiel.

Des recherches concernant les luminaires dans le résidentiel ou le tertiaire visent notamment à adapter ceux-ci aux contraintes d'encombrement posées par les LFC, ou à l'optimisation des réflecteurs compte tenu de la répartition spécifique de la lumière. L'industrie du luminaire étant très atomisée et principalement constituée de PME, la mobilisation des acteurs dans ce secteur sur des questions d'efficacité énergétique est difficile. On observe néanmoins que des produits nouveaux spécifiquement conçus pour les LFC apparaissent sur le marché du luminaire à destination des entreprises et des collectivités.

2 Les ballasts électroniques

La fonction du ballast est d'initier la décharge dans un tube fluorescent puis de la stabiliser en limitant le courant qui traverse la lampe. La plupart des ballasts en fonctionnement sont de type "électromagnétique", mais l'apparition de ballasts électroniques (à haute fréquence) a permis d'améliorer encore les performances globales de l'éclairage fluorescent.

Les ballasts électroniques fonctionnent à très haute fréquence et de ce fait suppriment certains désagréments observés avec les ballasts électromagnétiques (délai d'allumage, bourdonnement, papillotements) et réduisent considérablement le poids des LFC. Mais le principal intérêt réside dans la diminution de la consommation spécifique du ballast. Un ballast électronique a une consommation propre de 4 ou 5 W, contre 10 W pour un ballast électromagnétique, il peut donc induire une diminution de la consommation de la lampe de l'ordre de 20%. Par ailleurs, la durée de vie des lampes est améliorée, de même que la tenue du flux lumineux dans le temps.

L'intérêt des ballasts électroniques est manifeste pour les LFC qui en sont aujourd'hui majoritairement équipées, mais aussi pour les tubes fluorescents rectilignes très largement répandus dans les locaux de bureaux ou le grand tertiaire et qui fonctionnent encore essentiellement sur des ballasts électromagnétiques.

Autre avantage des ballasts électroniques, ils permettent d'envisager la commercialisation de LFC (et plus généralement d'éclairage fluorescent) équipées de variateurs de lumière.

III.4 Le coût de l'éclairage.

III.4.1 Caractéristiques générales

La consommation d'électricité pour l'éclairage représente une part significative de la consommation d'électricité. En France, elle représente environ 11% de la consommation totale d'électricité. L'essentiel de la consommation s'effectue dans le tertiaire (commerces, bureaux, tertiaire public, etc.) qui représente plus de la moitié de la consommation d'électricité, suivi du secteur résidentiel.

Ces deux secteurs absorbent les trois quarts de la consommation d'électricité pour l'éclairage, soit environ 30 TWh. L'importance relative de l'éclairage par rapport aux autres usages de l'électricité est, par ailleurs, variable selon le secteur considéré ; très faible dans l'industrie (moins de 3%), elle atteint 12% dans le résidentiel et 27% dans le secteur tertiaire.

En conséquence, l'efficacité énergétique de l'éclairage constitue un enjeu plus ou moins important selon les secteurs considérés. En comparaison d'autres usages, les enjeux peuvent sembler limités dans l'industrie, mais plus motivants dans les secteurs résidentiel et tertiaire.

La France se situe dans la moyenne des pays industrialisés pour ce qui concerne la part de l'électricité utilisée à des fins d'éclairage. Celle-ci évolue entre 10 et 20% selon les pays considérés en fonction du développement des usages thermiques de l'électricité ou de l'importance relative du secteur tertiaire.

En moyenne, la part de la consommation totale d'électricité affectée aux usages d'éclairage est de 17%. L'éclairage arrive ainsi en seconde position derrière les moteurs industriels (27%) mais nettement devant la climatisation des immeubles à usage commercial/public (10%), le chauffage des locaux résidentiels (5%) ou la production d'eau chaude sanitaire (5%).

III.4.2 Maîtrise des coûts d'exploitation.

Afin de réduire les consommations d'énergie pour l'éclairage, la Commission européenne a voté une directive visant à porter à 55 % d'ici à 2005 la part de luminaires fluorescents équipés d'alimentation électronique (Directive 2000/55 du 18 septembre 2000). La France a pris, de plus, l'initiative d'introduire l'éclairage dans la réglementation thermique (RT 2000).

Qui imaginerait aujourd'hui installer un système de chauffage sans thermostat ? C'est malheureusement ce qui se passe chaque jour pour l'éclairage. Il existe pourtant de nombreuses solutions pour réguler la quantité de lumière fournie, et ainsi concilier confort, économies d'énergie et souplesse d'utilisation. Ce qui est possible depuis longtemps avec les lampes incandescentes et halogènes l'est également, et avec plus de fonctionnalités, avec les tubes fluorescents et d'autres lampes à décharge.

Aujourd'hui, un projet d'éclairage se doit d'intégrer un système de régulation de la quantité de lumière fournie. Cette régulation commence par la simple variation en remplaçant les interrupteurs par des boutons - poussoirs. Elle peut aller jusqu'à l'automatisation complète de la fonction éclairage (détection de présence, prise en compte de la lumière naturelle, contrôle de niveau d'éclairement, scénarios d'ambiances lumineuses enregistrés, programmations dynamiques, etc.), et permettre la gestion complète des ambiances. Cette gestion peut s'intégrer à d'autres fonctions de la gestion technique du bâtiment. Les possibilités sont multiples, adaptées à tout type d'installation.

1 La commande manuelle

Un bouton poussoir ou une télécommande joue le rôle d'interrupteur et de variateur. Ce simple système de variation permet déjà de réaliser **30 % d'économie** par rapport à une solution avec ballast ferromagnétique.

2 La commande automatique

Les détecteurs de présence permettent d'éteindre et d'allumer les luminaires ou de faire varier automatiquement le niveau d'éclairement en fonction de l'occupation d'un local et de répondre également à certaines attentes en terme de sécurité.

Les cellules photoélectriques maintiennent le niveau d'éclairement choisi sur une zone en tenant compte des apports en lumière naturelle. On peut ainsi déclencher automatiquement la variation d'éclairage des luminaires.

Ces systèmes peuvent être combinés et aussi doublés par une commande manuelle afin de permettre à l'utilisateur de reprendre le contrôle de la variation de lumière. Cette solution complète peut aboutir à **60 % d'économie**.

3 La gestion d'ambiances

Les systèmes de gestion d'ambiances (programmeurs ou séquenceurs, gestionnaires d'ambiances) offrent la possibilité d'enregistrer plusieurs scénarios que l'utilisateur peut activer simplement et modifier selon ses besoins.

4 La gestion centralisée de la lumière

La gestion centralisée permet le contrôle, la commande et la gestion horaire et calendaire de l'installation d'éclairage. Elle permet aussi de connaître l'état et les consommations de l'installation d'éclairage de l'ensemble du bâtiment. Elle s'intègre éventuellement dans un système de gestion technique du bâtiment.

Cette solution complète offre jusqu'à **60 % d'économie**. Elle aboutit, de plus, à une réduction des coûts d'exploitation grâce à la gestion flexible de l'éclairage.

III.4.3 Exemple d'application de réduction des coûts pour l'éclairage de bureaux

Il est possible d'automatiser la variation de lumière dans les bureaux pour garantir en permanence le juste niveau d'éclairement sur le plan de travail et profiter des apports en lumière naturelle afin d'économiser l'énergie.

Il est judicieux de prévoir des commandes d'abaissement progressif de l'éclairage si la personne s'absente. L'utilisateur doit toutefois pouvoir intervenir manuellement afin de faire varier les niveaux d'éclairement selon son activité (travail sur écran, consultation de documents, etc.) et ses propres besoins.

Eviter pour des raisons d'économie de commander l'ensemble de l'éclairage d'un bâtiment par une seule cellule photoélectrique située à l'extérieur car la configuration, l'utilisation ou l'orientation sont différentes.

Les types de produits à retenir sont : Cellule photoélectrique + Télécommandes sans fil ou murales.

Associées à une cellule de gestion automatique du niveau d'éclairement en fonction des apports de lumière du jour, les télécommandes permettent à l'utilisateur de choisir l'ambiance lumineuse la plus confortable et la mieux adaptée à sa performance visuelle, mais aussi de programmer des ambiances lumineuses, de les mémoriser et de les activer d'un simple geste. Avec ce système, plus de gaines ni de fils dans les cloisons : les télécommandes peuvent se déplacer à volonté suivant les reconfigurations des bureaux sans engager de lourds travaux. Ainsi la modification de l'éclairage ne constitue plus un frein aux modifications des espaces bureaux.

Bénéfices

- Economie d'énergie **jusqu'à 60 %**
- Confort visuel et bonne ergonomie
- Souplesse d'utilisation
- Reconfiguration des espaces simplifiée

Les économies réalisées peuvent être mise en évidence en complétant une fiche de ce type :

Tableau 11: Estimation globale du coût d'éclairage d'un local
Fiche d'estimation globale du coût d'éclairage d'un local

Identification du local :

PARAMETRES	FORMULE	SOLUTION 1	SOLUTION 2
DONNEES DE BASE		choix initial	choix économique
Niveau d'éclairage à tenir imposé (Lux)			
Nombre de jours d'allumage par an	O		
Nombre d'heures d'allumage par jour (h)	P		
Nombre d'heures d'allumage par an	$Q = P \times O$		
Prix de l'électricité (€/kWh)	R		
Coût de collecte et de traitement d'une lampe usagée (€)	Ctl		
Taux horaire de la main-d'œuvre (€/h)	S		
COUT DE L'INSTALLATION			
Nombre de luminaires	A		
Nombre de lampes par luminaire	C		
Nombre de ballasts par luminaire	F		
Nombre de starter par luminaire	I		
Temps d'installation par luminaires (min)	Tl		
Temps total d'installation (heures)	$Tt = Tl \times A$		
Coût total d'installation (€)	$Ti = S \times Tt$		
COUT DE L'INVESTISSEMENT INITIAL			
Coût du luminaire (ballast ferromagnétique) (€)	B(f)		
Coût du luminaire (ballast électronique) (€)	B(é)		
Coût d'une lampe (€)	Z		
Coût des lampes par luminaire (€)	D		
Coût du starter (si ballast ferromagnétique) (€)	J		
Investissement par luminaire (€)	$M = B + D$		
Investissement total (€)	$N = Ti + (M \times A)$		
COUT DE CONSOMMATION D'ENERGIE			
Puissance des lampes par luminaires (W)	E		
Puissance d'un ballast (W)	H		
Puissance totale d'un luminaire (W)	$K = E + (H \times F)$		
Puissance de l'ensemble du local (kW)	$L = K \times A / 1000$		
Consommation annuelle d'un luminaire (kWh)	$U = Q \times K / 1000$		
Consommation annuelle du local (kWh)	$V = U \times A$		
Coût annuel de consommation d'énergie (€)	$W = V \times R$		
COUT DE LA MAINTENANCE ET DE COLLECTE ET TRAITEMENT DES LAMPES USAGEES			
Nombre de lampes à remplacer par an	Lr		
Coût des lampes (et starters) à remplacer	$Zl = (Z \times Lr) + (J \times Lr)$		
Temps d'intervention pour le nettoyage des luminaires	T		
Temps d'intervention pour le remplacement des lampes	Tla		
Coût annuel de la maintenance (€)	$X = Zl + (T \times S) + (Tla \times S)$		
Coût annuel de collecte et de traitement de lampes (€)	$G = Ctl \times Lr$		
Coût annuel d'exploitation (€)	$Y = X + W + G$		
Economie d'énergie par an (€)	$Ec = W1 - W2$		
Surcoût de l'installation (€)	$Sur = N2 - N1$		
Retour sur investissement (ans)	$Re = Sur / (Y1 - Y2)$		

CONCLUSION

L'éclairage des locaux de travail est soumis à de nombreuses réglementations et recommandations, imposant des valeurs limites indispensables à respecter ainsi que des méthodes, les dispositions des luminaires et des valeurs d'éclairement adaptés aux différentes tâches du travailleur afin d'organiser l'ergonomie des lieux de travail lors de la conception ou la réhabilitation des locaux de travail. Les obligations de l'employeurs, du maître d'oeuvre et du maître d'ouvrage y sont définies de manière précise.

Afin d'assurer un éclairage permettant la sécurité et la santé des travailleurs, plusieurs paramètres sont à prendre en compte en ne négligeant pas le facteur humain.

Pour convaincre un employeur de réaliser un bon éclairage, le facteur coût est un excellent argument. En effet, le coût lié à l'éclairage des locaux représente 10% de la facture électrique. De plus, une installation d'éclairage bien pensée peut contribuer à la rentabilité d'une activité par des gains financiers par une réflexion sur les coûts d'exploitation et de maintenance, des gains de productivité, des gains sociaux et environnementaux.

Dans l'optique de cette réflexion sur les coûts, la Communauté Européenne a mis et continue à mettre en place des projets tels le projet Greenlight qui vise, entre autre, au remplacement des ballasts ferromagnétiques par des ballasts électroniques ou encore des projets d'accompagnement des professionnels dans la recherche du meilleur compromis pour le futur.

BIBLIOGRAPHIE

- REGLEMENTATION

- Règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les ERP (Etablissements Recevant du Public).
- Code du Travail
- Code de construction et de l'habitation
- Directive du conseil 92/58/CEE du 24 juin 1992 : prescriptions minimales pour la signalisation de sécurité et de la santé au travail.

Décrets :

Décrets	Intitulés
Décret n° 83-721 du 2 août 1983	Complétant le Code du Travail en ce qui concerne l'éclairage des lieux de Travail, et destiné aux chefs d'entreprises.
Décret n° 83-722 du 2 août 1983	Complétant le Code du Travail et fixant les règles relatives à l'éclairage des lieux de travail auxquelles doivent se conformer les maîtres d'ouvrage entreprenant la construction ou l'aménagement de bâtiments destinés à l'exercice d'une activité industrielle, commerciale ou agricole.
Décret n°88-1056 du 14 novembre 1988	Concernant la protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en œuvre des courants électriques.

Arrêtés

Arrêtés	Intitulés
Arrêté du 23 octobre 1984	Relatif aux relevés photométriques sur les lieux de travail et aux conditions d'agrément des personnes et organismes pouvant procéder à ces contrôles.

Arrêté du 20 décembre 1988 modifié	Détermine la périodicité, l'objet et l'étendue des vérifications réglementaires des installations électriques.
Arrêté du 4 novembre 1993	Signalisation de sécurité.
Arrêté du 10 novembre 1976 modifié	Les circuits et les installations de sécurité.

Circulaires

Circulaires	Intitulés
Circulaire du 11 avril 1984	Relative aux commentaires techniques des décrets n° 83-721 et 83-722 du 2 août 1983 relatifs à l'éclairage des lieux de travail.
Lettre-circulaire DRT n° 90/11 du 28 juin 1990	Relative à l'éclairage naturel et à la vue vers l'extérieur.
Circulaire DRT n°2003-07 du 2 avril 2003	Relative à l'application de l'arrêté du 26 février 2003.

Normes

Normes	Intitulés
NF X 35-103	Principe d'ergonomie visuelle applicable à l'éclairage des lieux de travail.
EN 12665	Termes de base et critères pour les spécifications des exigences en éclairage.
NF EN 12464-1	Eclairage des lieux de travail (détail toutes les recommandations d'éclairage de tous les types de lieux de travail).
NF C 71-110 et NF C 71-111	Température limite acceptable des luminaires

NF C 71-121	Méthode simplifiée de prédétermination des éclairagements des espaces clos et classification correspondantes les luminaires.
NF C 71-800	Aptitude à la fonction des blocs autonomes d'éclairage de sécurité, d'évacuation des ERP et ERT soumis à réglementation.
NF C 63-800	Dispositif pour la mise en service automatique de l'éclairage de sécurité.
NF C 71-820	Système de tests automatiques pour appareil d'éclairage de sécurité.
NF EN 60598-2-22	Règles particulières, luminaires pour éclairage de secours.
NF EN 1838	Eclairage de secours.

Supports papiers

1. Aide mémoire juridique TJ 13, éclairage des locaux de travail, INRS, mars 2000
2. Conception des lieux de travail – obligations des maîtres d'ouvrages ED 773 INRS 1996
3. Les guides pratique éclairage de sécurité, J3E, octobre 1997
4. Fiches de mesures et d'éclairage d'un poste de travail, n°27
5. Fiches d'éclairage d'un local, n°17
6. Fiche pratique de sécurité (INRS), éclairage artificiel au poste de travail, B. VANDEVYVER
7. Fiche pratique de sécurité (INRS), éclairage naturel, B. VANDEVYVER, C. TERRIER
8. Prévention des risques professionnels, INRS, mai 1991
9. Recommandations relatives à l'éclairage intérieur des lieux de travail, association française de l'éclairage (afe), octobre 1993

Sites Internet

- www.legifrance.gouv.fr : réglementation (directives, décrets, arrêtés, circulaires) sur les éclairages des locaux de travail
- <http://www.aimt67.org/dossier/eclairage.html> : éclairage des lieux de travail
- <http://www.travail.gouv.fr>
- <http://www.adminet.com>
- <http://www.franceincendie.fr>
- <http://www.feder-eclairage.fr>
- www.ademe.fr
- www.miltimedia.com/afelux
- www.inrs.fr
- <http://vectexte.free.fr>
- www.afe.fr