

IV. Méthodologie et dimensionnement des installations électriques

IV.1 Bilan de puissance

Afin de concevoir une installation, il est nécessaire d'estimer le plus justement possible la puissance maximale (puissance d'utilisation) que devra fournir le distributeur d'énergie.

Baser le calcul de la puissance d'utilisation simplement sur la somme arithmétique des puissances de tous les récepteurs installés existants conduirait à des résultats économiquement extraordinairement surévalués et serait en terme d'ingénierie d'une mauvaise pratique.

L'objet de cette partie est de fournir une méthodologie pour l'estimation de la puissance d'utilisation. Il est nécessaire, pour cette estimation, d'évaluer quelques facteurs prenant en compte :

- la diversité (le non fonctionnement simultané de tous les récepteurs pour un groupe donné),
- le niveau d'utilisation réel des récepteurs installés (par exemple un moteur électrique n'est généralement pas utilisé à sa pleine capacité de charge, etc.),
- le niveau d'utilisation prévisionnel des récepteurs installés et des extensions de charges possibles.

Les valeurs données sont basées sur l'expérience et sur des enregistrements réalisés sur des installations existantes. En plus de fournir une base de données pour le calcul de l'installation de chaque circuit, la méthodologie proposée permet, à partir de ces calculs de base, de fournir une valeur globale pour la puissance d'utilisation de l'installation, sur laquelle peut être spécifié le cahier des charges du système de fourniture en énergie (réseaux de distribution, transformateur MT/BT, ou groupe électrogène).

a. Puissance installée (kW)

La puissance installée (kW) est la somme des puissances nominales de tous les récepteurs de l'installation. L'indication de la puissance nominale (P_n) est marquée sur la plupart des appareils et équipements électriques.

En pratique, la puissance nominale n'est pas toujours la puissance réellement consommée par le récepteur. Par exemple, dans le cas :

- d'un moteur électrique, la puissance nominale correspond à la puissance de sortie sur son arbre. La puissance d'entrée consommée est évidemment plus importante,
- de lampes fluorescentes et de lampes à décharge, qui ont un ballast stabilisateur, la puissance nominale indiquée sur la lampe (qui est celle consommée par la lampe seule) est inférieure à la puissance consommée par la lampe et son ballast.

Les méthodes d'évaluation des consommations réelles de puissance pour les moteurs et les appareils d'éclairage sont décrites dans le chapitre-I.

b. Puissance absorbée S_a (kVA)

La puissance (apparente) absorbée S_a par une charge (qui peut être un simple appareil) est obtenue à partir de sa puissance nominale (corrigée si nécessaire, comme indiqué ci-dessus pour les appareils d'éclairage, etc.) et de l'application des coefficients suivants :

$$S_a = P_n \times a$$

a : Facteur tient compte du facteur de puissance et du rendement des récepteurs

$$a = \frac{1}{(\eta \times \cos \varphi)}$$

$$\eta = \text{rendement unitaire} = \frac{\text{kW sortie}}{\text{kW entrée}}$$

$$\cos \varphi = \text{facteur de puissance} = \frac{\text{kW entrée}}{\text{kVA entrée}}$$

En l'absence de données précises, on peut utiliser les valeurs moyennes suivantes :

- Chauffage par résistance : On prend $a = 1$.
- Moteurs :

Puissance des moteurs	Cos φ	Rendement η	a
Jusqu'à 1000 W	0,5	0,5	4
de 1 à 4 KW	0,7	0,7	2
de 4 à 50 KW	0,8	0,8	1,5
plus de 50 KW	0,9	0,9	1,2

- Autres récepteurs et appareils d'éclairage : « a » est déterminé selon les indications des constructeurs.

De la valeur de S_a se déduit le courant à pleine charge absorbé I_a :

- $I_a = \frac{S_a \times 10^3}{V}$ (pour une charge monophasée connectée entre phase et neutre)
- $I_a = \frac{S_a \times 10^3}{\sqrt{3} \times U}$ (pour une charge triphasée)

V = tension phase-neutre (volts)

U = tension phase-phase (volts)

c. Puissance d'utilisation S_u (kVA)

Les récepteurs ne fonctionnent pas tous ni en même temps ni à pleine charge : des facteurs de simultanéité (ks) et d'utilisation (ku) permettent de calculer la puissance d'utilisation (kVA). La puissance d'utilisation sert à dimensionner l'installation pour la souscription du contrat de fourniture d'énergie électrique.

Facteur d'utilisation maximale (ku) : Le régime de fonctionnement normal d'un récepteur peut être tel que sa puissance utilisée soit inférieure à sa puissance nominale installée, d'où la notion de facteur d'utilisation.

Le facteur d'utilisation s'applique individuellement à chaque récepteur. Ceci se vérifie pour des équipements comportant des moteurs susceptibles de fonctionner en dessous de leur pleine charge. Dans une installation industrielle, ce facteur peut être estimé en moyenne à :

- En l'absence d'indications plus précises, un facteur d'utilisation de 0,75 peut généralement être adopté pour les appareils à moteur.
- Pour l'éclairage et le chauffage, il sera toujours égal à 1.
- Pour les prises de courant, tout dépend de leur destination, à défaut, on prend 1.

Facteur de simultanéité (ks) : Par expérience, on sait que dans la pratique, toutes les charges d'une installation donnée ne fonctionnent jamais simultanément. Il y a toujours un certain degré de diversité dont on tient compte par l'utilisation d'un facteur (**ks**). Le facteur **ks** est appliqué à chaque groupe de charges (par exemple, alimenté à partir d'un tableau de distribution ou de sous-distribution).

- **Facteur de simultanéité assigné pour tableaux de distribution :** Les normes CEI 61439-1 et 2 définissent de façon similaire le facteur de diversité assigné pour les tableaux de distribution (dans ce cas, toujours ≤ 1). La CEI 61439-2 indique également que, en l'absence d'un accord entre le fabricant d'ensemble (tableautier) et l'utilisateur concernant les courants réels de charge (facteurs de diversité), la charge supposée des départs de l'ensemble ou du groupe de départs peut être basée sur les valeurs de :

Type de charge	Facteur de charge supposé
Distribution - 2 et 3 circuits	0,9
Distribution - 4 et 5 circuits	0,8
Distribution - 6 à 9 circuits	0,7
Distribution - 10 circuits ou plus	0,6
Organe de commande électrique	0,2
Moteurs ≤ 100 kW	0,8
Moteurs > 100 kW	1,0

Tableau IV-1 : Facteur de simultanéité pour armoire de distribution (CEI 61439 et NF C 63-410).

Facteur de simultanéité en fonction de l'utilisation : Le Tableau IV-2 indique les valeurs du facteur **ks** pouvant être utilisées sur des circuits alimentant des types de charges les plus courantes.

Utilisation	Facteur de simultanéité (ks)	
Eclairage	1	
Chauffage et conditionnement d'air	1	
Prises de courant	0,1 à 0,2 ^[a]	
Ascenseur et monte-charge ^[b]	Pour le moteur le plus puissant	1
	Pour le moteur suivant	0,75
	Pour les autres	0,60

^[a] Dans certains cas, notamment dans les installations industrielles, ce facteur peut être plus élevé.
^[b] Le courant à prendre en considération pour chaque moteur est égal à son courant nominal majoré du tiers de son courant de démarrage.

Tableau IV-2 : Facteur de simultanéité en fonction de l'utilisation (UTE C15.105 table AC)

d. Facteur d'extension **ke** :

Il tient compte des prévisions d'extension. La valeur du facteur **ke** doit être estimée suivant les conditions prévisibles d'extension; il est au moins égal à 1 et pour les installations industrielles, une valeur d'au moins 1,2 est recommandée.

e. Choix de la puissance nominale du transformateur :

Quand une installation doit être alimentée par un transformateur MT/BT et que la puissance d'utilisation de l'installation a été déterminée, un dimensionnement approprié du transformateur peut être déterminé en tenant compte (Voir **Tableau IV-3**) :

- des possibilités d'amélioration du facteur de puissance de l'installation (Voir Chapitre compensation d'énergie réactive),
- des extensions prévisibles de l'installation,
- des contraintes d'installation (température...),
- et des puissances nominales existantes.

Puissance apparente (kVA)	100	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
In (A)	141	225	352	444	563	704	887	1127	1408	1760	2253	2816	3520	4436

Tableau IV-3 : Puissances apparentes normalisées des transformateurs MT/BT triphasés et intensités Nominales correspondantes

L'intensité nominale du transformateur triphasé s'obtient à partir de sa puissance ***P_n*** et de la tension secondaire à vide par :

$$I_n = \frac{P_n \times 10^3}{\sqrt{3} \times U}$$

avec

P_n: puissance du transformateur en kVA,

U: tension secondaire à vide (410 V),

I_n en ampères.

IV.2 Détermination des protections et sections de conducteurs

Le diagramme page suivante montre les différentes étapes du dimensionnement des éléments d'un réseau, en particulier le calcul de section d'une ligne et de sa protection.

En effet, pour une section de ligne et une longueur données, on doit prendre en compte les protections contre les risques suivants :

- **Les surcharges** : Celle-ci entraîne un échauffement anormal
- **Les courts-circuits** : Ils causent des surintensités brutales avec risque de fusion de la ligne.
- **Les défauts d'isolement** : Ils peuvent entraîner des risques d'électrocution des personnes.
- **Les chutes de tension** : Elles sont source de mauvais fonctionnement des appareils d'utilisation.

Dans cette section, nous étudierons le dimensionnement pour une utilisation normale des canalisations et des protections sans porter sur les situations dangereuses comme les courts-circuits et les chutes de tension.

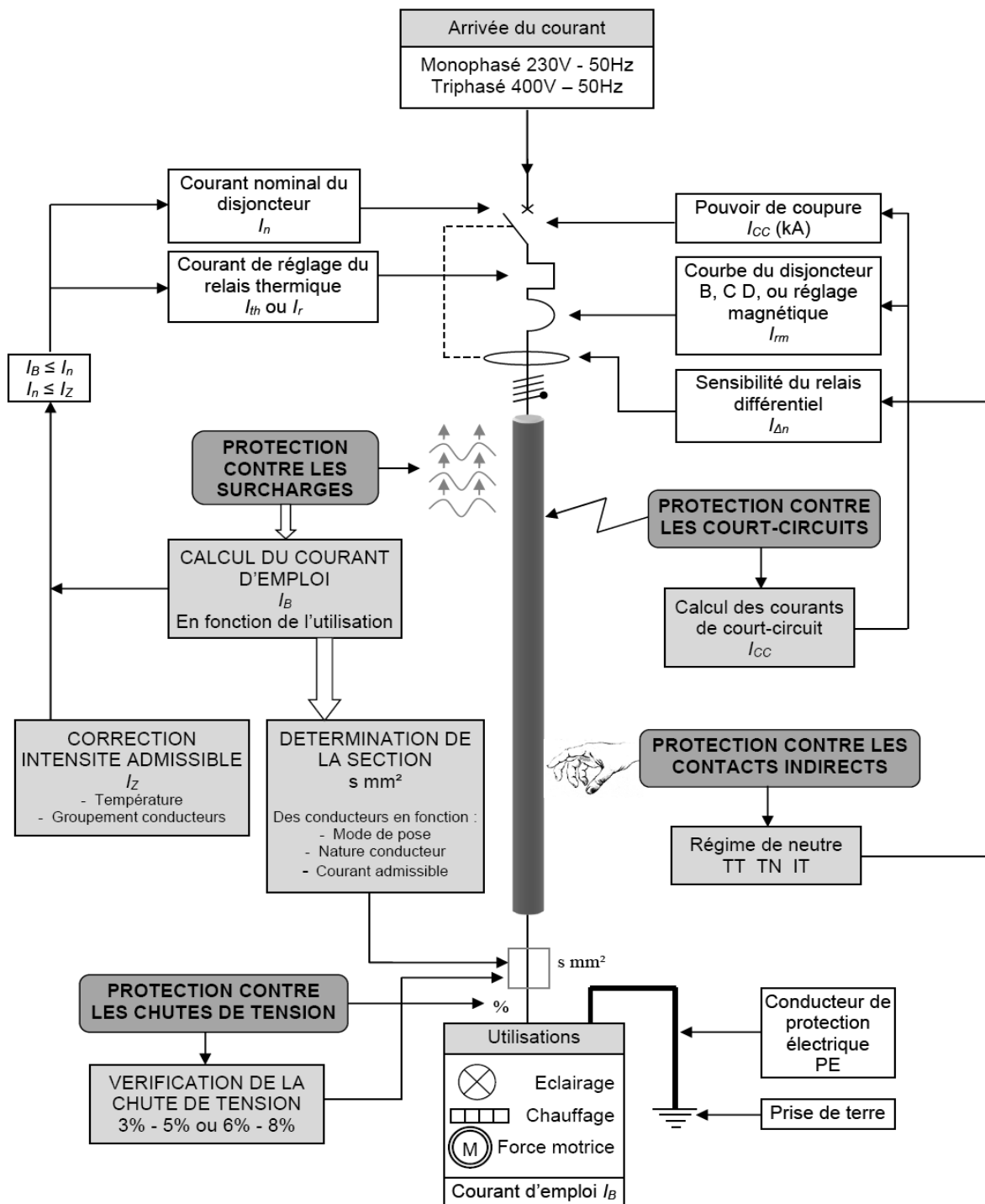


Figure IV.1 Le diagramme des différentes étapes du dimensionnement des éléments d'un réseau, en particulier le calcul de section d'une ligne et de sa protection.

a. Courant d'emploi (I_B):

- ✓ Au niveau des circuits terminaux, c'est le courant qui correspond à la puissance apparente des récepteurs.
- ✓ Au niveau des circuits de distribution (principaux, secondaires), c'est le courant correspondant à la puissance d'utilisation (S_u), laquelle tient compte des coefficients de simultanéité et d'utilisation, respectivement k_s et k_u .

b. Courant admissible (I_z):

C'est la valeur constante de l'intensité que peut supporter, dans des conditions données, un conducteur, sans que la température de l'âme conductrice soit supérieure à la valeur.

Type d'isolation	Température maximale de fonctionnement des conducteurs (°C)
Polychlorure de vinyle (PVC)	70
Polyéthylène réticulé (PR)	90
Ethylène-propylène (EPR)	90

Tableau IV-4 : Les températures maximales de fonctionnement des conducteurs pour un type d'isolation.

C'est aussi le courant pour la canalisation, qui correspond à une section du conducteur, que le dispositif de protection saura protéger.

c. Règle générale de détermination de la protection :

Les méthodes suivantes sont basées sur des règles définies dans la norme CEI 60364-4-43 § 433 et § 434 et sont conformes aux règles de l'art pratiquées dans de nombreux pays.

Un dispositif de protection (disjoncteur ou fusible), assure correctement sa fonction si :

- son courant nominal ou de réglage I_n est situé entre le courant d'emploi et le courant admissible de la canalisation, soit : $I_B \leq I_n \leq I_z$ ce qui correspond à la zone a de la **Figure IV.2**.
- son courant conventionnel de déclenchement I_2 est inférieur à $1,45 \times I_z$, ce qui correspond à la zone b de la **Figure IV.2**.
- son pouvoir de coupure (PdC) est supérieur à l'intensité de court-circuit maximale triphasée ($I_{cc\ tri}$) en son point d'installation, soit : $PdC \geq I_{cc\ tri}$, ce qui correspond à la zone c de la **Figure IV.2**.

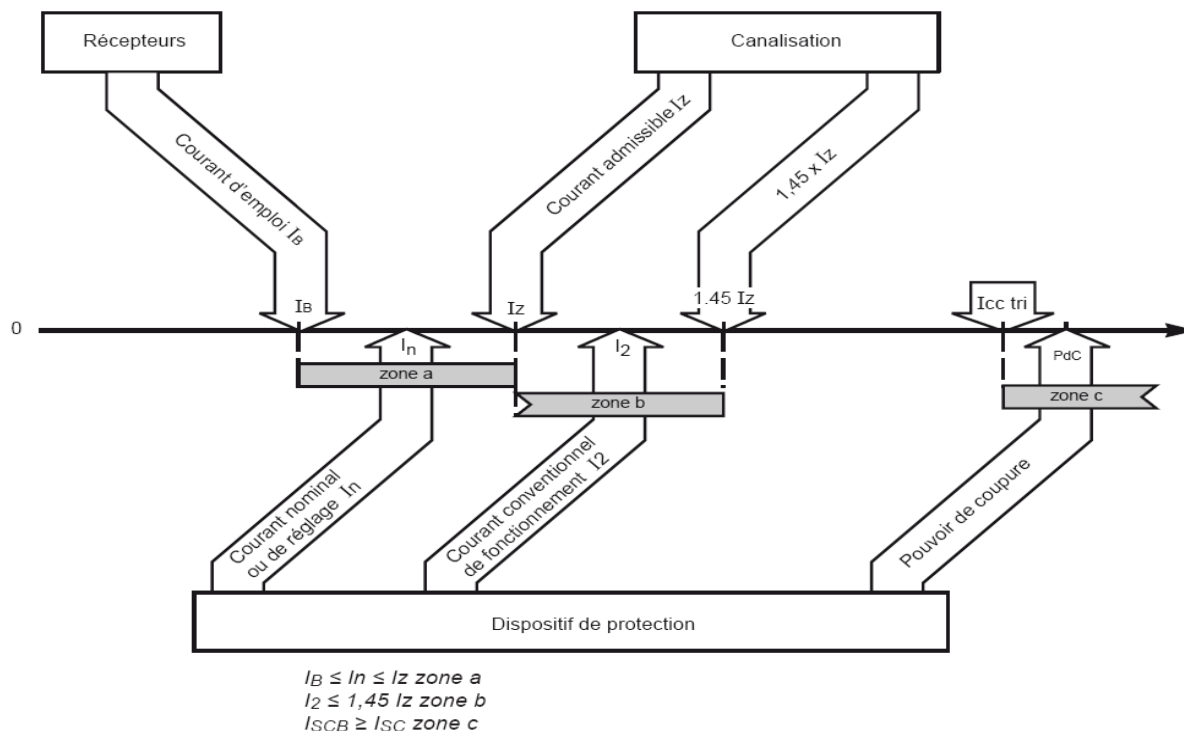


Figure IV.2 Courants du circuit nécessaires à la détermination du calibre de la protection
(fusible ou disjoncteur) (selon NF C 15-100)

✓ **protection par disjoncteur :**

Critère de choix d'un disjoncteur : $I_B \leq I_n \leq I_z$ et $PdC \geq I_{CC} tri$

De par sa plus grande précision, le courant I_2 est toujours inférieur à 1,45 I_n (ou 1,45 I_r) et la deuxième condition (zone b) est automatiquement respectée.

✓ **Protection par fusibles gG :**

Critère de choix d'un fusible: $I_B \leq I_n \leq \frac{I_z}{k_3}$ et $PdC \geq I_{CC} tri$

Au contraire, la condition $I_2 \leq 1.45 I_z$ est la plus contraignante, où I_2 est le courant de fusion du fusible qui vaut k_2 fois I_n (k_2 va de 1,6 à 1,9 selon les fusibles).

Le courant nominal I_n du fusible est déterminé par : $I_2 = k_2 \times I_n$

Un autre facteur a été introduit ($k_3 = \frac{k_2}{1.45}$) tel que $I_2 \leq 1.45 I_z$ sera valide si $I_n \leq I_z / k_3$.

Pour les fusibles de type gG:

$$k_3 = 1.31 \times I_n \quad \text{si } I_n < 16A$$

$$k_3 = 1.10 \times I_n \quad \text{si } I_n \geq 16A$$

d. Section des conducteurs :

Le choix des sections de conducteurs dépend du mode de pose, du courant admissible et des conditions environnementales.

✓ ***Méthode de référence :***

Pour chacun des exemples de mode de pose définis dans le tableau 1 donné en annexe, on trouve la méthode de référence. Dans le même tableau on trouve également les facteurs de correction éventuels. La méthode référence est repérée par l'une des lettres : B, C, D, E ou F.

✓ ***Tableau des sections :***

Les sections des conducteurs sont données par le tableau 2, donné en annexe, en fonction des courants admissibles.

A partir de la méthode référence (lettres B, C, E et F), en fonction de la nature de l'isolant (PVC ou PRC) et du nombre de conducteurs chargés, on détermine la colonne correspondante (numéros 1 à 9).

La section du conducteur (colonne d'origine) correspond à la ligne où se situe la valeur du courant admissible I_z .

Le tableau 3 donné en annexe « A », est utilisé pour la méthode de référence D.

Remarque :

- Le chiffre 2 après PR ou PVC est relatif à un circuit monophasé.
- Le chiffre 3 après PR ou PVC est relatif à un circuit triphasé.

✓ **Facteurs de correction :**

Les facteurs de correction permettent d'augmenter la section pour tenir compte de conditions particulières selon la relation :

$$f = f_1 \times f_2 \times f_3$$

f_1 : Facteur de correction pour température ambiante (voir tableau 4 et 5 donné en annexe « A »).

f_2 : Facteur de correction concerne le groupement de plusieurs circuits ou de plusieurs câbles multipolaires qui sont groupés de façon jointive. (Voir tableau 6 donné en annexe « A »).

f_3 : C'est le facteur à appliquer éventuellement selon la méthode de référence (voir tableau 1 donné en annexe « A »).

✓ **Courant admissible corrigé (fictive) I'_z :**

La section S d'un câble est obtenue à partir de courant corrigé I'_z (l'intensité fictive) déterminé par la formule suivante:

$$I'_z = \frac{k_3 \cdot I_n}{f} \quad (\text{Pour les fusibles})$$

$$I'_z = \frac{I_n}{f} \quad (\text{Pour les disjoncteurs})$$

Pour les disjoncteurs industriels, on remplace I_n par I_r , intensité de réglage du relais de protection du disjoncteur ($I > 125A$).

IV.3 Calcul de l'éclairage intérieur

Réaliser un projet d'éclairage consiste à déterminer l'éclairage artificiel qu'il faut installer dans un lieu afin de l'adapter à une activité donnée, en tenant compte du confort visuel que requiert cette activité (suivant les réglementations en vigueur).

Nous devons connaître :

- ✓ la nature de l'activité prévue;
- ✓ les dimensions;
- ✓ la couleur des murs et du plafond.

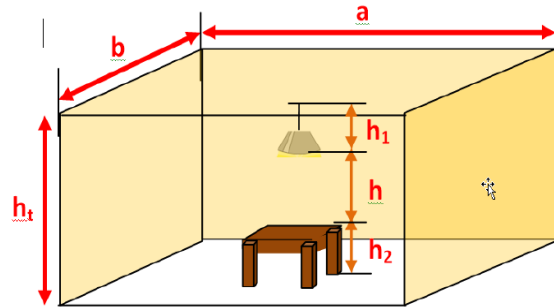
a. L'éclairement recommandé (E):

La nature de l'activité permet de déterminer le niveau d'éclairement à réaliser sur le plan de travail : on trouvera ce niveau dans le **tableau 1 donné en annexe « B »**.

b. Les dimensions du local :

Un local, en général de forme parallélépipédique, est caractérisé par le rapport de ses dimensions.

- **a** : Longueur
- **b** : Largeur
- **ht** : Hauteur total
- **h2** : Hauteur plan
- **h1** : Hauteur suspension source-lumineuse
- **h** : Hauteur plan de travail-source lumineuse



On utilise pour cela deux facteurs : **K** et **J**.

✓ *Indice du local :*

$$K = \frac{a \times b}{(a + b) \times h}$$

On arrondit les valeurs de **K** aux nombres : 0,6 – 0,8 – 1 – 1,25 – 1,5 – 2 – 2,5 – 3 – 4 – 5

✓ *Rapport de suspension :*

$$J = \frac{h_1}{(h + h_1)}$$

On ne retient pour les tableaux suivants que deux valeurs :

$J = 0$ (soit le luminaire contre le plafond)

$J = 1 / 3$ (soit le luminaire suspendu)

c. Facteurs de réflexion.

La lumière émise par le luminaire est réfléchiée en partie par les parois du local éclairé, ce qui se traduit pour les calculs par un coefficient de réflexion donné par le **tableau 2 donné en annexe « B »**.

Ils sont donnés dans l'ordre : plafond, mur, plan utile.

d. Facteur de dépréciation (d)

En cours d'utilisation, le flux lumineux émis par une lampe baisse : entre deux nettoyages, les surfaces des lampes et du luminaire s'empoussièrent ; les matériaux qui composent le luminaire peuvent vieillir ; les parois du local voient aussi leur couleur changer dans le temps.

Les conditions de la dépréciation varient avec la nature de l'activité exercée dans le local, la nature des lampes, la construction du luminaire, la fréquence des nettoyages. A titre indicatif, l'Association Française de l'Eclairage indique les valeurs suivant le **tableau 3 donné en annexe « B »**.

e. Classe et rendement d'un luminaire :

Certains luminaires engendrent des faisceaux lumineux évasés, d'autres des faisceaux plus étroits. Cela dépend de la répartition du flux lumineux donc de la forme et de la nature très variées des réflecteurs.

Le type de répartition du flux inférieur est désigné par une lettre (A à J) qui donne la classe du luminaire :

- les lettres A à E désignent des luminaires de type intensif
- les lettres F à J désignent des luminaires de type extensif
- Le flux supérieur est désigné par la lettre T.

Remarque : plus on avance dans l'alphabet plus la répartition de la lumière est extensive.

Un luminaire est caractérisé par son rendement η qui est le rapport entre le flux lumineux utile sortant du luminaire et le flux lumineux total émis par la source (composée d'une ou de plusieurs lampes).

Remarque : La classe et le rendement d'un luminaire sont indiqués par les fournisseurs

f. L'utilance (U)

C'est le rapport du flux utile (reçu par le plan utile) au flux total sortant des luminaires. Son symbole est U . On détermine le facteur d'utilance à l'aide de tableaux 4 **donné en annexe « B »** qui comportant trois variables:

- la valeur de (j) facteur de suspension;
- b) la valeur de (K) indice du local;
- c) les facteurs de réflexion des parois ;
- d) la classe des luminaires.

g. Flux lumineux à fournir (F):

Pour éclairer la totalité du plan utile d'une pièce rectangulaire (surface = $a \times b$) au niveau d'éclairement E avec des luminaires, il faut installer des luminaires donnant au total un flux F (en lumens).

$$F = \frac{E \times a \times b}{U \times \eta} \quad (\text{Sans tenir compte de facteur de dépréciation})$$

$$F = \frac{E \times a \times b \times d}{U \times \eta} \quad (\text{Avec tenir compte de facteur de dépréciation})$$

- E = éclairement demandé (en lux)
- a = longueur du local (en mètre)
- b = largeur du local (en mètre)
- d = facteur de dépréciation de luminaire
- U = facteur d'utilance
- η = rendement du luminaire.

h. Nombre de luminaires (N)

Connaissant le flux lumineux total (F), et le flux lumineux produit par chaque lampe (F_L) on en déduit le nombre de luminaires à installer (N).

$$N = \frac{F}{n \times F_L} \quad \text{avec } n : \text{nombre de lampes par luminaire.}$$

Les valeurs des distances entre luminaires dépendent de la classe des luminaires et de la hauteur utile h . Le **tableau 5 donné en annexe « B »**, donne des coefficients de distance maximale entre deux luminaires, en fonction de la classe du luminaire.

V.