

Ministère de la formation professionnelle de l'emploi et de  
l'artisanat

Centre d'entrepreneuriat et de développement technique « le  
G15 »

Ingénieur-Professeur Ngouda DIONE

---

Suite cours de T.G.P. 2<sup>e</sup> année Electrotechnique

## **Chapitre 4 : Eclairage et photométrie**

### **I. Caractéristiques de la lumière**

#### **1. Explication sur la lumière**

La lumière est un rayonnement visible. Ce rayonnement est un ensemble de radiations caractérisées par leur longueur d'onde ; en nanomètres en général.

La lumière se transmet à la vitesse de 300000km/s.

Longueur d'onde de la lumière ;  $\lambda = \frac{v}{f}$

v : vitesse de la lumière en m/s

f : fréquence en Hz

#### **2. Décomposition de la lumière**

Le rayonnement d'une source lumineuse se définit comme une émission d'énergie comportant plusieurs radiations élémentaires.

- En envoyant une source lumineuse en provenance du soleil, on observe une décomposition de la lumière en couleur élémentaire. Cela s'explique par le fait que la

lumière dite blanche du soleil est la réunion de plusieurs radiations élémentaires qui diffèrent par leur longueur d'onde.

- L'ensemble des radiations constitue le spectre de la source lumineuse

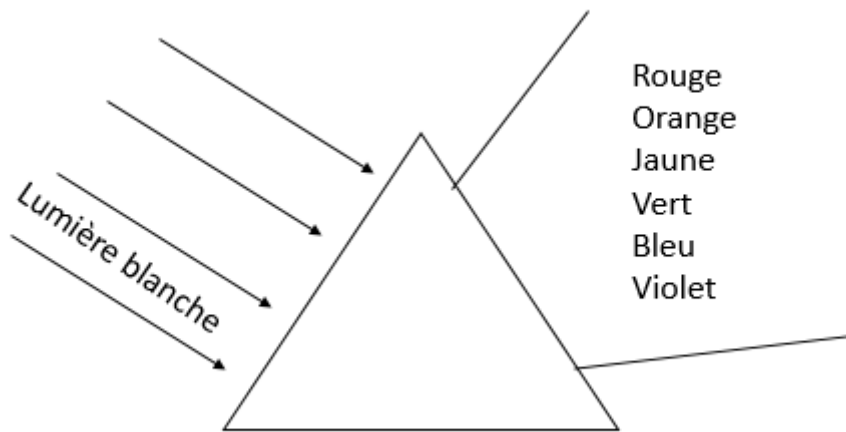


Figure I.2) : Décomposition de la lumière par un prisme

### 3. Spectres lumineux

La sensibilité de l'œil est différente selon les couleurs.

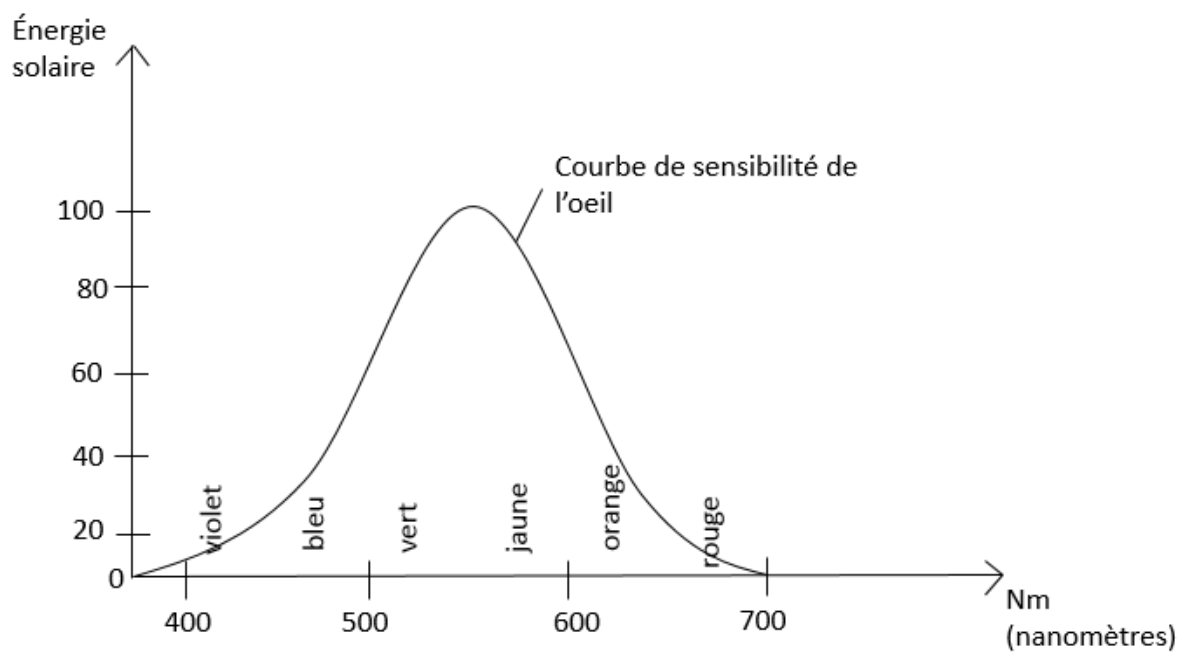
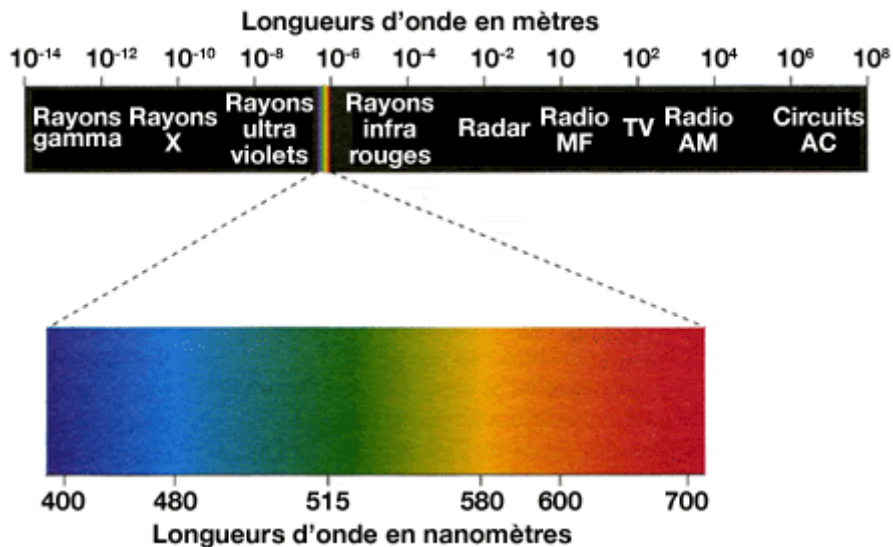


Figure I.3) : Sensibilité de l'œil selon les couleurs de la lumière

## 4. Classification de radiations

Les radiations sont classées en fonction de la fréquence.



## II. Grandeurs et unités photométriques

La photométrie a pour objet la mesure des grandeurs photométriques :

- L'éclairement obtenu sur une surface
- L'intensité lumineuse dans une direction déterminée
- Le flux lumineux total fourni par une source

### 1. L'intensité lumineuse

Cette grandeur a été fixée arbitrairement. C'est à partir de l'intensité lumineuse ( $I$ ) que l'on définit toutes les autres unités ; elle a pour unité la candéla (cd).

La candéla est l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence  $540 \cdot 10^{12}$  Hertz et dont l'intensité énergétique dans cette direction est 1/683 Watt par stéradian.

### 2. Le flux lumineux ( $\phi$ )

C'est la quantité de lumière émise par une source lumineuse dans un certain cône.

Le flux lumineux a pour unité le lumen (Lm).

C'est le flux émis par une source ponctuelle uniforme de 1 candéla (1cd) dans l'angle solide de 1 stéradian.

$$\phi = I \cdot \Omega$$

$\phi$  : flux lumineux en lumen

$I$  : intensité lumineuse en candéla

$\Omega$  : angle solide en stéradian

L'angle solide de 1 stéradian est défini par une surface sphérique de  $1\text{m}^2$  placée à  $1\text{m}$  de la source de 1 candéla.

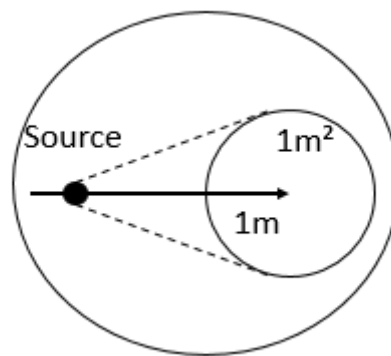


Figure II.2) : Angle solide de 1 stéradian

### 3. L'éclairement

L'éclairement est le flux lumineux par unité de surface. L'éclairement ( $E$ ) a pour unité le lux (Lx). Le Lux est l'éclairement  $E$  d'une surface de  $1\text{m}^2$  recevant un flux lumineux de 1 lumen.

$1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen/m}^2$ .

$$E = \frac{\phi}{S}$$

$\Phi$  : flux lumineux en Lm

$S$  : surface en  $\text{m}^2$

E : éclairement en Lx

## 4. Lois fondamentales

### a) La loi de l'obliquité

L'éclairement d'une surface est proportionnel au cosinus de l'angle d'incidence du flux lumineux reçu :

$$E = \frac{\Phi}{S} = \cos\alpha$$

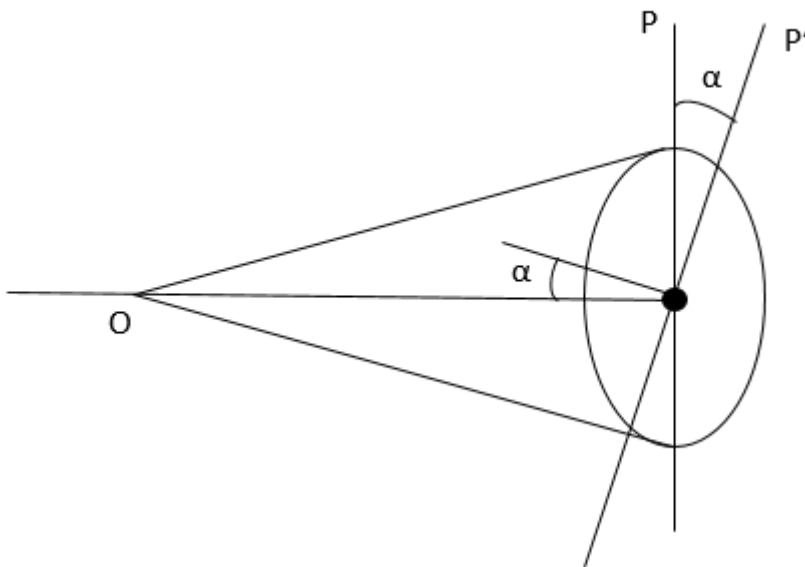


Figure II.4-a) : Obliquité d'une surface par rapport à une source

### b) Loi du carré des distances

L'éclairement d'une surface par une source est inversement proportionnel au carré de la distance entre la source et la surface

$$E = \frac{I}{d^2}$$

d : distance en m

### III. Les sources de lumière

#### 1. Les lampes à incandescence

Ce sont des lampes où l'éclairement est le fait d'un filament chauffant (tungstène par exemple).



Symbole

#### 2. Les tubes fluorescents

Ils sont caractérisés par les éléments suivants :

##### a) La température de couleur

La « température de couleur » caractérise l'ambiance colorée, chaude ou froide, que les tubes fluorescents permettent d'obtenir.

Température ambiante	Température de couleur
Chaude (blanc – rosé)	$<3300^{\circ}\text{K}$
Intermédiaire (blanc)	$3300 \text{ à } 5500^{\circ}\text{K}$
Froide (blanc – bleuté)	$>5500^{\circ}\text{K}$

##### b) Indice de rendu des couleurs (IRC)

L'IRC caractérise l'aptitude des tubes fluorescents à ne pas déformer l'aspect coloré habituel des surfaces qu'ils éclairent. Par convention, cet indice est compris entre 0 et 100. S'il n'y a aucune différence d'aspect, l'indice est 100.

Rendu des couleurs	Valeur d'IRC
Médiocre	$60 < \text{IRC} < 80$
Moyen	$80 < \text{IRC} < 85$
Bon	$85 < \text{IRC} < 90$
Très bon	$\text{IRC} > 90$

### c) Spectre lumineux

Le spectre lumineux est d'une part, au gaz ionisé d'autre part à l'excitation de la substance fluorescente. Ce n'est pas un spectre continu, mais une succession de raies de différentes longueurs d'onde.

Le mélange de poudre de sels fluorescents permet de faire varier les teintes de spectres lumineux. Chaque fabricant présente ses tubes sous des appellations commerciales très différentes.

Dénomination		Température de couleur	IRC	Efficacité Lm/W
Tube série prestiflux	Confort/827	2700K	85	100
	Incandia/830	3000K	85	100
	Brillant/840	4000K	85	100
	Jour/865	6500K	85	100
Tube série symphonie	Solara/930	3000K	95	65
	Aurora/940	3800K	95	65
	Harmonia/950	5300K	98	65
	Azura/965	6500K	97	65
Blanc industrie		4100K	60	70

## IV. Les appareils d'éclairage

### 1. Classes et catégories de luminaires

La norme NF CH-121 donne pour les luminaires une répartition en 20 classes repérées de A à T. La catégorie du luminaire est définie par la répartition du flux lumineux sur une sphère selon 5 cônes repérés de F1 à F5.

Il s'agit d'angles solides ; la totalité de la sphère représente  $4\pi$  :

- F1 correspond à un éclairage très localisé ;
- F5 correspond à un éclairage indirect.

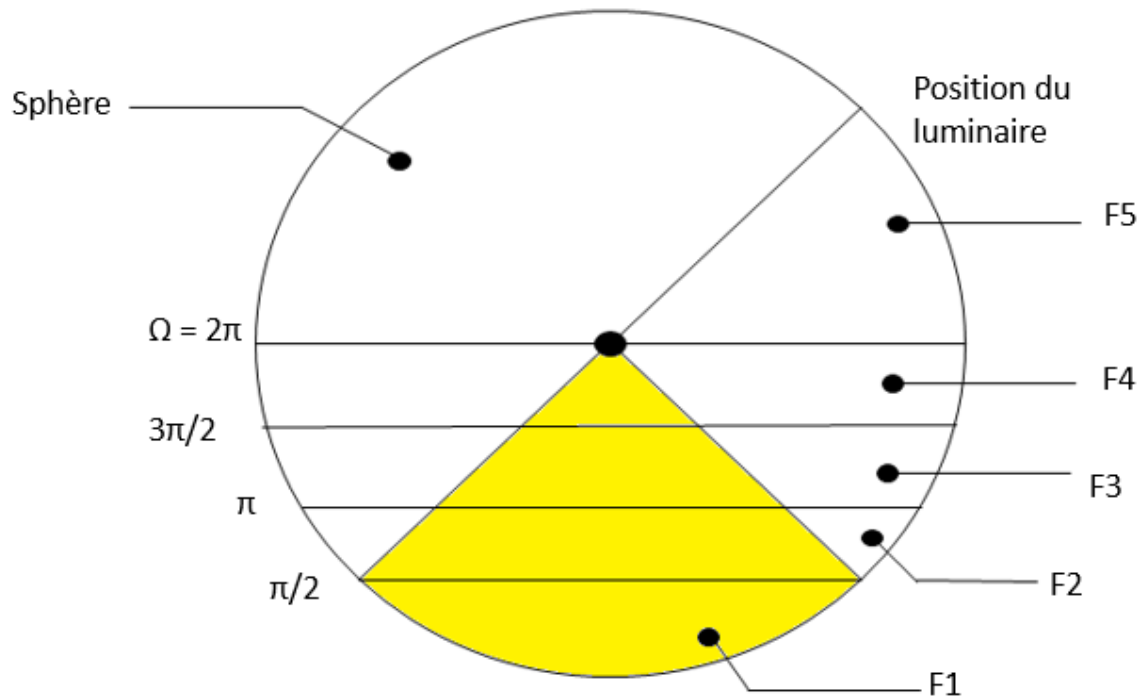


Figure IV.1-a) : Les catégories de luminaires

A l'intérieur de chaque catégories de luminaire (F1 à F5), il existe différentes classes repérées par des lettres de A à S. Seule la catégorie F5 correspond à la classe T.

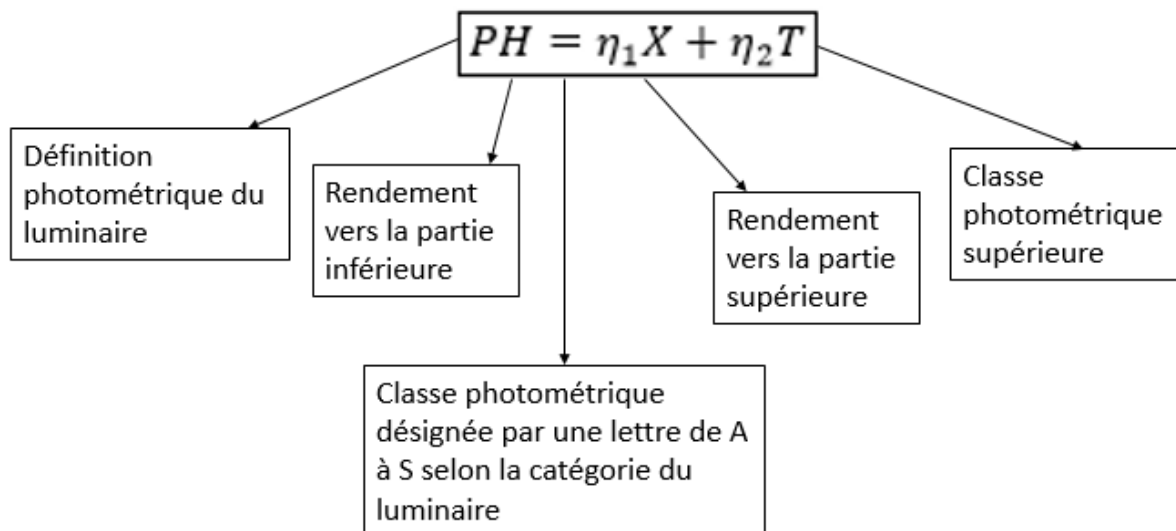
Classe	Catégorie de luminaire
A, B, C, D, E	F1 : direct intensif
F, G, H, I, J	F2 : direct extensif
K, L, M, N	F3 : semi-direct
O, P, Q, R, S	F4 : mixte
T	F5 : indirect

## 2. Définitions photométriques

L'équation photométrique est l'équation du luminaire. Elle est donnée par le constructeur selon la forme suivante :

$$PH = \eta_1 X + \eta_2 T$$





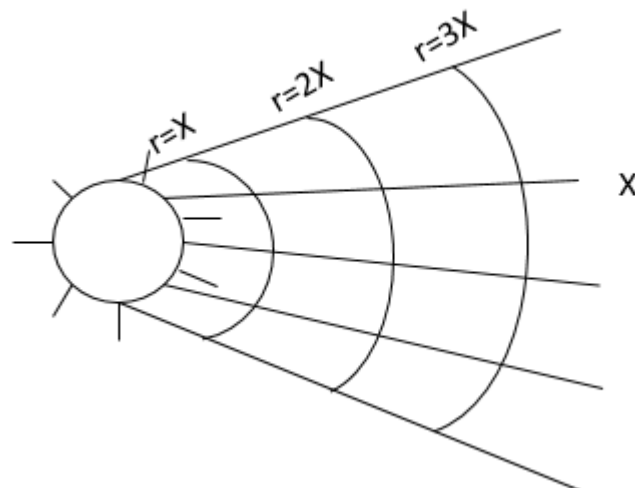
$\eta_1$  et  $\eta_2$  sont compris entre 0 et 1.

Soit le tableau ci-après qui présente des exemples d'équations photométriques de luminaires.

NB : pour plus d'informations, voir document polycopié.

## V. Lois gouvernants l'éclairement

### 1. Loi du cosinus de Lambert



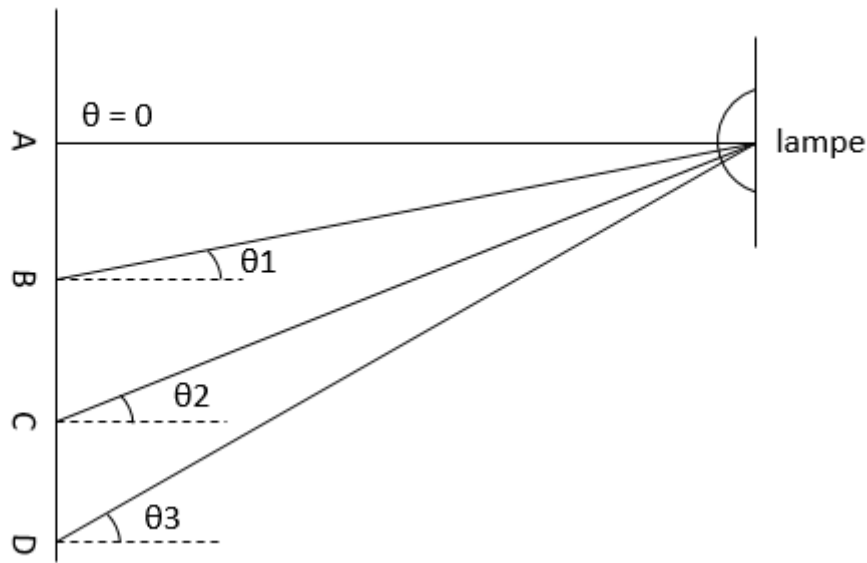
$$E_1 = \frac{Q}{A} ; E_2 = \frac{Q \cos \theta}{A} = E_1 \cos \theta$$

$$E = \frac{I \cos \theta}{r^2} \text{ en } \text{Lm}/\text{m}^2$$

Soit E l'éclairement d'une source directement proportionnellement au cosinus de  $\theta$  fait avec la surface illuminée du flux incident.

Considérant une lampe d'intensité lumineuse une forme suspendu à une hauteur H et soit A le point immédiatement éclairée et en d'autres points B, C et D, on a l'éclairement au point A,

$$E_A = 1/r^2, \text{ avec } \theta=0$$



$$E_A = \frac{1}{h^2} ; E_B = \frac{I}{(LB)^2} \cdot \cos \theta_1 ; E_C = E_A \cdot \cos^3 \theta_2 ; E_D = E_A \cdot \cos^3 \theta_3$$

## 2. Luminance ou brillance d'une source L ou B

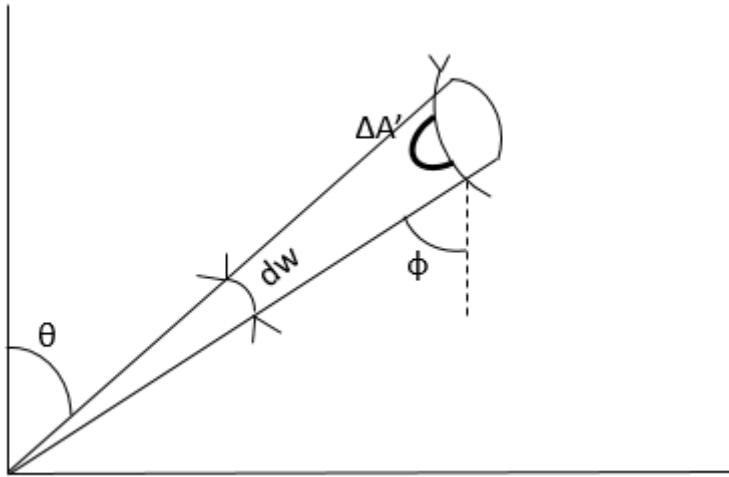
Soit une surface d'aire S émettant perpendiculairement un rayonnement d'intensité I, de luminance L ou B.

$$L = B = \frac{I}{S}$$

Soit  $\Delta A$ , un élément de surface d'une source et  $\Delta I$  une intensité lumineuse vu sous un angle  $\phi$ , la luminance de l'élément égale.

$$L = B = \frac{\Delta I}{\Delta A \cdot \cos \phi} = \frac{\Delta I}{\Delta A'} \quad \text{avec } \Delta A' = \Delta A \cdot \cos \phi$$

Supposons E est l'éclairement de la source



$$E = \frac{I \cos \theta}{d^2} \quad \text{d'où} \quad \Delta E = \frac{\Delta I}{d^2} \cos \theta \quad 1)$$

En substituant  $\Delta I$  dans 1), on a :

$$\Delta E = \frac{L \Delta A'}{d^2} \cos \theta = L \cos \theta \cdot dw, \text{ en considérant } dw = \frac{\Delta A'}{d^2}$$

$$E = \int L \cos \theta \cdot dw = L \int \cos \theta \cdot dw$$

### 3. Les différents types d'éclairement

On peut distinguer :

- Un éclairement où la source est un point : l'éclairement est donné par la relation

$$E = \frac{I \cdot \cos \theta}{d^2} ; Lm/m^2$$

- La source peut être une ligne. Dans ce cas l'éclairement est donné par :

$$E = \frac{\pi \cdot I}{2d^2} ; Lm/m^2$$

Selon la direction du flux lumineux, on peut avoir :

- un éclairage direct : 90% du flux lumineux est dirigé vers le bas. Exemple : les industries
- un éclairage indirect : 90% du flux lumineux est dirigé vers le haut et 10% seulement vers le bas, c'est le cas des salles de réception.

Pour apprécier la qualité d'un éclairage, on prend en compte plusieurs facteurs :

- Facteur d'utilisation  $\rho$  : c'est le rapport du flux reçu sur le plan de travail au flux total émis par les lampes. Il tient compte de la forme du local (indice de forme

$$i = \frac{a \cdot b}{h(a + b)}$$

en éclairage direct et sémi-direct (a : longueur du local ; b : largeur et h la distance de la lampe au plan de travail et H la distance du plafond au plan de travail) ou

$$i = \frac{3a \cdot b}{2H(a + b)}$$

en éclairage indirect. Il tient aussi compte de la réflexion du flux lumineux sur les murs : blanche :  $i=0,7$  ; clair :  $i=0,5$  ; vive :  $i=0,3$  ; foncée :  $i=0,1$ .

- Facteur de dépréciation  $d$  : la valeur dépend de l'atmosphère plus ou moins du local, de la facilité d'encaissement des lumières, de la qualité d'entretien de l'installation. Ce facteur varie entre 1,3 et 1,5 suivant que les conditions soient favorables ou non ; 1,48 s'il n'y a aucune précision.
- Le rendement des luminaires ( $Lm/m$ ) : il varie entre 0,6 et 0,8. Cela est dû au fait que les luminaires absorbent une partie du flux lumineux.

Si on considère le flux lumineux nécessaire  $\phi = E \cdot S$ , le facteur d'utilisation  $\rho$  ; le facteur de dépréciation  $d$ , le rendement des luminaires est exprimé comme suit

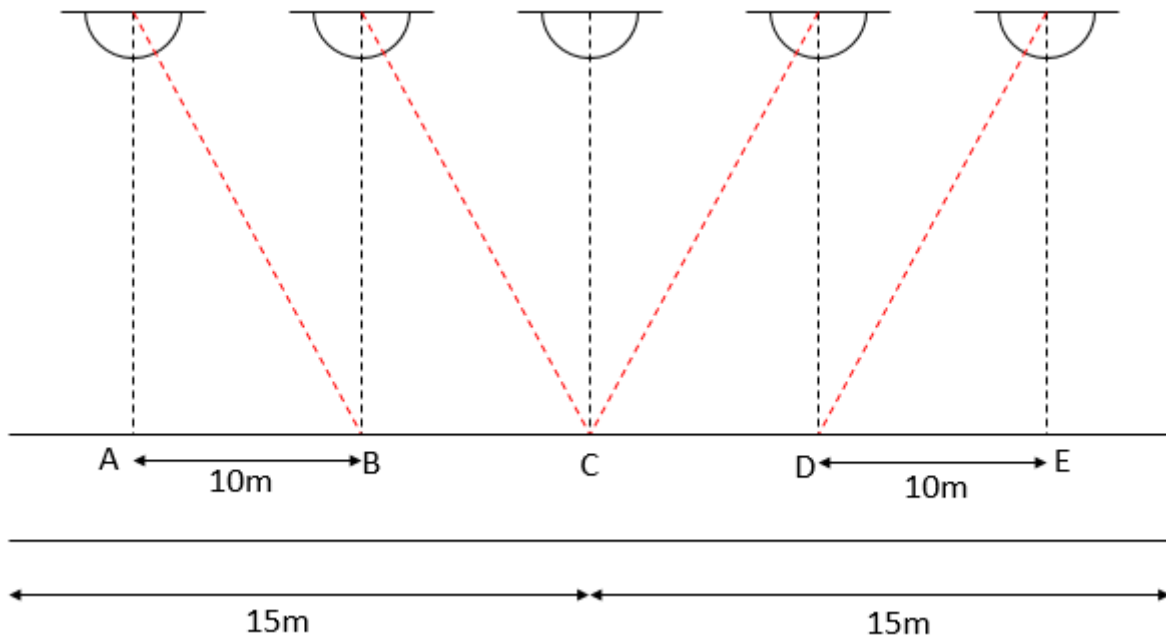
$$\eta = \frac{d}{E \cdot S \cdot \rho}$$

## 4. Exercices d'application

### Exercice1 :

Un corridor est éclairé par 4 lampes espacé de 10m l'une de l'autre est suspendue à 5m de hauteur si chaque lampe donne 200Cd dans toutes les directions.

Calculer l'éclairement au sol au point milieu entre la 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup>.



L'éclairement au point C est dû à celui des 4 lampes. C est situé symétriquement par rapport aux 4 lampes. L'éclairement à ce point est 2 fois celui de  $L_1$  et  $L_2$ .

$$E_1 = \frac{I \cos \theta_1}{L_{1,C}^2} ; L_{1,C} = \sqrt{5^2 + 15^2} ; \cos \theta_1 = \frac{5}{15,8} \text{ donc } E_1 = \frac{200 \cdot \frac{5}{15,8}}{15,8^2} = 0,253 \text{ Lm/m}^2$$

$$E_2 = \frac{I \cos \theta_2}{L_{2,C}^2} ; L_{2,C} = \sqrt{5^2 + 5^2} = \sqrt{50} = 5\sqrt{2} ; \cos \theta_2 = \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ donc}$$

$$E_2 = \frac{200 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}}{50} = 2,83 \text{ Lm/m}^2$$

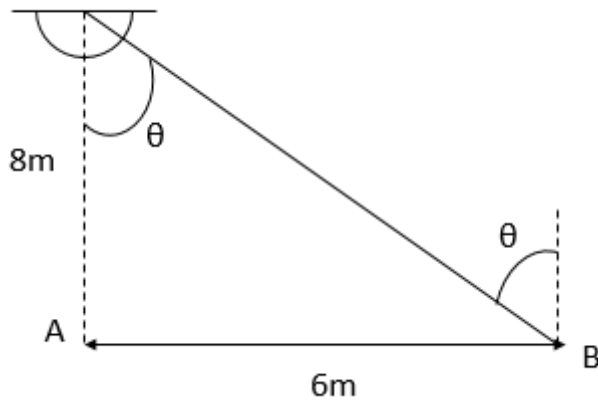
L'éclairement dû à  $L_1$  et  $L_2$  est  $E_1 + E_2 = 0,253 + 2,83 = 3,08 \text{ Lm/m}^2$ .

Au point C, l'éclairement E est égal à  $2(E_1 + E_2) = 2 \cdot 3,08 \text{ Lm/m}^2$ .

## Exercice2

Une lampe fournissant 1200Lm dans toutes les directions et suspendue à 8m d'une surface de travail plane.

On demande de calculer  $E_B$  situé à 6m du point A.



Calculons l'éclairement du point B

$$I = \frac{I_T}{4\pi} = \frac{1200}{4\pi} = 95,5Cd ; L_B = \sqrt{8^2 + 6^2} = \sqrt{100} = 10m ; \cos\theta = \frac{8}{10} = 0,8$$

$$E_B = \frac{I}{L_B^2} \cdot \cos\theta = \frac{95,5}{10^2} \cdot 0,8 \rightarrow \boxed{E_B = 0,76Lm/m^2}$$

### Exercice3

Soit une salle de classe 50 x 20m, éclairée par des lampes de puissance unitaire 200W, pour un flux émis de 2400Lm.

Le flux nécessaire pour la salle  $\phi$  est de 775193,8Lm, avec un facteur d'utilisation de 0,43 et un rendement  $\eta=0,9$ .

Déterminer l'éclairement de la salle, le rendement lumineux des lampes et le nombre de lampes.

Solution

- Eclairement

$$\phi = \frac{E * A}{\rho \cdot \eta} \rightarrow E = \frac{\phi \cdot \rho \cdot \eta}{A} = \frac{775193,8 * 0,43 * 0,9}{50 * 20} \rightarrow \boxed{E \approx 300Lm/m^2}$$

- Rendement lumineux/lampe

$$\eta_L = \frac{\phi_l}{P_{u,l}} = \frac{2400}{200} \rightarrow \boxed{\eta_L = 12Lm/W}$$

- Nombre de lampes nécessaires

$$\frac{775193,8}{2400} = 32,3 \text{ lampes}$$