

Biophysique de la vision

I / Généralités :

- ! La chaîne visuelle comprend :
 - l'œil : assurant le receuil et la transduction du message physique constitué par une onde lumineuse.
 - des voies nerveuses : qui transmettent l'information reçueillie jusqu'au cortex.
 - Des centres corticaux : dont les fonctions d'analyse et de traitement de l'information aboutissent à la perception du message sensoriel. constitué par une image en couleurs et en relief.

II / Signal physique de la vision :

Le signal physique est constitué d'ondes lumineuses provenant de points précis.

A) La lumière visible :

Le message lumineux est une onde électromagnétique, transport d'énergie sans transport de matière. La lumière peut se propager dans le vide à sa vitesse maximale qui est la célérité. C'est une vibration transversale perpendiculaire à la direction de propagation dont la fréquence est de l'ordre de 10^{15} Hz.

L'onde lumineuse est une onde monochromatique (la sensation de couleur dépend de la longueur d'onde et de la fréquence).

Un rayonnement monochromatique est caractérisé par sa fréquence ν et sa longueur d'onde $\lambda = \frac{c}{\nu}$.

La gamme de longueurs d'ondes perceptible par l'œil humain est comprise entre 400 nm et 800 nm.

Les longueurs d'ondes inférieures à 350 nm : U.V

Les longueurs d'ondes supérieures à 800 nm : I.R

Ces longueurs d'ondes sont absorbées dans les milieux transparents de l'œil.

Les rayonnements lumineux peuvent également être représentés sous un aspect corpusculaire. La masse au repos est nulle et l'énergie est proportionnelle à la fréquence. ($E = h \cdot v$)

a) Les caractéristiques d'ondes électromagnétiques :

(Voir cours rayonnements)

b) Loi de Descartes (voir cours optique)

B) Les unités radiométriques :

Elles sont utilisées pour la quantification des paramètres énergétiques d'une onde lumineuse.

a) Le flux énergétique ϕ

Il représente l'énergie emise par une source transportée et reçue sur une cible par unité de temps. Il s'exprime en joules / seconde ou Watt.

Ce flux peut être quantifié au niveau de l'émission ou de la réception.

b) L'intensité énergétique:

L'intensité énergétique est le flux énergétique émis par une source. $I(\vec{u}) = \frac{d\phi}{d\Omega}$

c) Le flux énergétique reçu par la cible : on le quantifie par le flux énergétique rapporté à l'aire de la cible. On l'appelle aussi éclairage énergétique.

$$E = \frac{d\phi}{dS} \quad [\text{Watt/m}^2]$$

C/ Les grandeurs photométriques:

Pour les distinguer des grandeurs radiométriques qualifiées d'énergétiques, les grandeurs photométriques sont qualifiées de lumineuses. Le parallélisme est absolu.

Grandeurs radiométriques	Grandeurs photométriques
Flux énergétique ϕ [Watts]	Flux lumineux F [lumen]
Intensité énergétique $I = \frac{d\phi}{d\Omega} [W \cdot Sr^{-1}]$	Intensité lumineuse I [Candela] (cd)
Eclairement énergétique $E = \frac{d\phi}{dS} [W \cdot m^{-2}]$	Eclairement lumineux E [Lumen $\cdot m^{-2}$] ou [Lux]
Brillance énergétique $B = \frac{I}{d\Omega \cos \alpha} [Sr^{-1}]$	Luminance L [Cd $\cdot m^{-2}$] = 10 nits

D/ Image lumineuse:

L'image lumineuse est définie comme une représentation bidimensionnelle d'un ensemble d'objets réels tel que à un point donné de l'espace-objet correspond un seul point de l'espace-image.

Nous voyons un objet par les ondes lumineuses qui il émet soit directement (source lumineuse) soit par réflexion des ondes provenant d'une source lumineuse extérieure (Ex: les lampes, le soleil ...)

La réflexion de la lumière par les objets se fait selon deux modalités :

Réflexion spéculaire:

Dans une direction privilégiée, les angles avec la normale à l'objet des faisceaux incidents et des faisceaux réfléchis sont égaux par des objets brillants.

Réflexion diffuse :

La réflexion diffuse dans toutes les directions. Elle prédomine pour les courtes longueurs d'ondes par les objets mats.

III / Message sensoriel de la vision :

A/ Trivariance visuelle :

La sensation visuelle a deux composantes :

- La perception de l'intensité lumineuse: elle dépend de la quantité d'énergie transportée par le rayonnement.
- La perception de la teinte de la lumière: elle dépend de la longueur d'onde du rayonnement.

Trois variables caractérisent la sensation visuelle :

- * La luminance: liée essentiellement à la quantité de lumière qui interagit avec la cellule sensorielle; elle permet de dire si une source est plus ou moins brillante.
- * La tonalité: grandeur non mesurable qui permet de connaître la couleur de la source (la teinte de la lumière perçue)
- * La saturation: permet par exemple de distinguer un rouge d'un rose : c'est relié au fait qu'une couleur monochromatique soit plus ou moins mélangée à du blanc.

La rétine a ainsi la possibilité d'analyser toute sensation lumineuse au moyen de ces trois variiances, cette propriété est connue sous le nom de trivariance visuelle.

On peut donc exprimer la trivariance dans deux systèmes équivalents : Le système Σ luminance, teinte, saturation et le Σ rouge, vert, bleu.

Toute sensation lumineuse de luminance totale L peut être définie comme la superposition d'une quantité donnée L_λ d'une lumière de longueur d'onde λ et d'une quantité donnée de lumière blanche L_w .

$$L = L_\lambda + L_w$$

La saturation est alors mesurée par le facteur de pureté

$$P = \frac{L_\lambda}{L} = \frac{L_\lambda}{L_\lambda + L_w}$$

Le facteur de pureté est nul pour la lumière blanche et il est égal à 1 pour une lumière monochromatique dite spectrale.

Pour le rouge, vert, bleu, l'expérience montre que toute sensation lumineuse peut être produite par superposition de 3 teintes primaires. La sensation est alors définie par la luminance de chacune des trois sources colorées :

$$L = L_R + L_B + L_V$$

B/ Quantification de la luminance:

La sensation de luminance nous permet de dire si une lumière est intense, elle est liée principalement à l'éclairage énergétique de la rétine. En négligeant les variations du diamètre pupillaire, cet éclairage énergétique est proportionnel à la brillance de la source. On constate expérimentalement que pour deux sensations lumineuses de deux couleurs, l'égalité de sensation de luminance correspond à l'égalité des brillances.

La sensibilité de l'œil à la lumière dépend de la longueur d'onde : l'œil est plus sensible au bleu qu'au rouge.

La sensibilité est maximale pour une longueur d'onde voisine de 555 nm : λ correspond au vert et

au jaune → pour une brillance énergétique suffisante :
vision diurne (du jour) photopique.

La sensibilité est maximale pour une longueur d'onde voisine de 510 nm → pour une brillance énergétique faible : vision nocturne scotopique.

Ce phénomène correspond à la mise en jeu de récepteurs rétinien différents :

Bâtonnets : pour vision nocturne.

Cônes : pour vision photopique.

c/ Visions photopique, scotopique et crépusculaire:

On peut décrire 3 domaines de vision en fonction du niveau de luminance :

- Le domaine diurne (photopique) : $L > 10 \text{ nits}$.

Il correspond à une vision colorée liée à la stimulation des cônes.

- Le domaine intermédiaire : de la vision crépusculaire ; la sensation colorée persiste mais la perception des rouges s'atténue.

- Le domaine nocturne : (scotopique) $L < 10^{-3} \text{ nits}$

Il correspond à une vision colorée due aux seuls bâtonnets. Le rouge apparaît beaucoup plus lumineux que le bleu → principe de la cible.