

## ANNEXE : L'ŒIL ET LA VISION

L'intensité de la sensation que donne une source lumineuse de longueur d'onde  $\lambda$  s'exprime par sa luminance (flux rapporté à l'unité de surface et à l'angle solide, exprimé en  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$ ). Celle-ci comprend une partie physique  $I(\lambda)$  et un coefficient correctif physiologique  $V(\lambda)$  qui traduit la **courbe de sensibilité** de l'œil (figure A-1, dans le cas de la vision diurne). L'efficacité de la détection oculaire dépend de la longueur d'onde, dans le domaine compris entre 380 et 780 nm, à cause des différences de transmission et d'absorption dans les différentes parties du milieu oculaire et de la rétine.

La lumière entre dans l'œil (figure A-2) par la cornée qui forme la partie frontale de l'enveloppe externe ; le flux lumineux est régulé par l'iris qui joue le rôle de diaphragme ; la mise au point optique est assurée par une lentille à géométrie (courbure) variable appelée cristallin puis la lumière traverse le corps vitré (gelée transparente) qui occupe le volume interne de l'œil, avant d'atteindre la rétine. Là se trouvent réparties les cellules photo-réceptrices qui transforment les signaux optiques en influx nerveux.

La **rétine**, tissu de 4 cm de diamètre et 250  $\mu\text{m}$  d'épaisseur, est composée de trois couches :

- couche de détection formée de photorécepteurs,
- couche intermédiaire assurant la détection à partir de paires antagonistes jaune-bleu, rouge-vert et noir-blanc,
- couche de cellules ganglionnaires qui transmettent l'information au cerveau via le nerf optique.

La couche photo-réceptrice contient deux types de cellules : les **bâtonnets** (100 millions) responsables de la vision à faible niveau d'énergie, pour la vision nocturne et la vision à niveaux de gris, et les **cônes** (5 millions), responsables de la vision diurne colorée. Ces cônes sont divisés en trois catégories, sensibles au bleu, vert et rouge et respectivement dénommés S (pour Short wavelengths), M (Medium) et L (Long). On compte 20 cônes M et 40 cônes L pour un cône S. Leurs maxima de réponse spectrale (figure A-3) sont situés à 420 nm (S), 530 nm (M) et 560 nm (L) ; un rayonnement incident sera donc l'origine de trois réponses physiologiques différentes mais simultanées ce qui induit un codage trivariant des couleurs quand les bâtonnets n'interviennent pas. Ainsi la sensation lumineuse totale peut s'écrire :

$$L = K \int_{\text{visible}} V(\lambda) I(\lambda) d\lambda \quad \text{avec} \quad K V(\lambda) = K_S S(\lambda) + K_M M(\lambda) + K_L L(\lambda)$$

Ces cônes ont surtout situés au niveau de la fovéa (tache de 1,5 mm de diamètre, où la résolution est maximale) située dans l'axe optique de l'œil, avec une densité de 150000/mm<sup>2</sup> correspondant à un champ visuel un peu inférieur à une minute d'angle par cône et chute à 5000/mm<sup>2</sup> à 20° de cette direction (répartition inverse pour les bâtonnets). Si les cônes (S) ont une courbe spectrale bien distincte des autres, il y a pour le vert et le rouge un tel recouvrement (séparation spectrale de seulement 30 nm) qu'il est impossible de les exciter séparément ; ce recouvrement contribue largement à notre sensibilité à la couleur.

Lorsque la lumière éclaire la rétine, les photons ont une certaine probabilité d'être absorbés en fonction du spectre d'absorption des blocs de pigment visuel, les **opsines** S, M ou L des cônes correspondants (10<sup>6</sup> par cône dans un espace de 100  $\mu\text{m}^3$ ) ; Chacune de ces opsines renferme le **rétinal** (molécule à doubles liaisons conjuguées). Les variations d'absorption des opsines sont liées à l'isomérisation (changement de configuration) du rétinal (figure A-5).

Dans une seconde étape, les cellules de la **couche intermédiaire** (dites à opposition spectrale) fonctionnent de façon non linéaire, comme des discriminateurs et absorbent beaucoup plus finement les couleurs que les cônes, dont elles augmentent notablement le contraste coloré

45 (séparation spectrale portée à 140 nm) (la figure A-4 compare les réponses des cônes M et L à celles -en pointillé- des cellules ganglionnaires M<sub>+</sub>/L<sub>-</sub> et M<sub>-</sub>/L<sub>+</sub>).

Dans une troisième étape, l'activation des protéines des opsines altère la valeur d'équilibre des potentiels (quelques mV) de la membrane cellulaire et génère une perturbation électrique qui se propage comme **influx nerveux** (via 10<sup>6</sup> fibres nerveuses) vers le cortex cérébral. On estime à 20 ms le temps d'écoulement entre l'absorption d'un photon par le rétinale du cône et l'arrivée de la décharge à la base du cerveau.

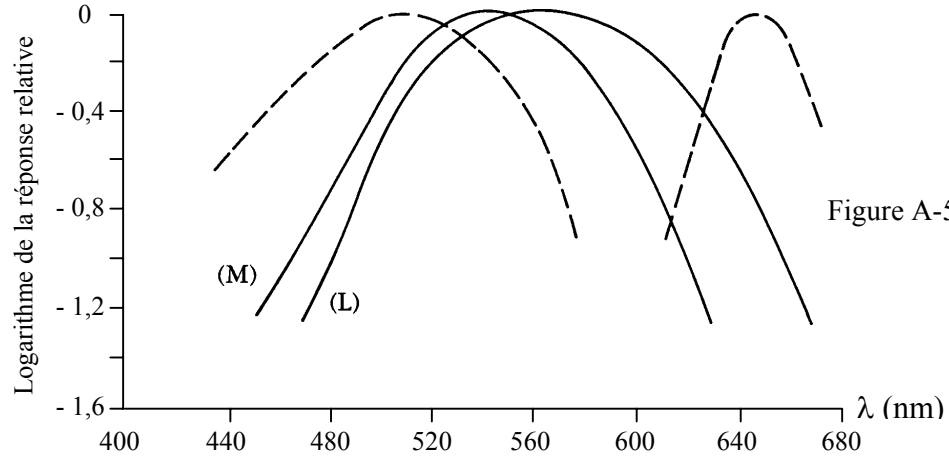
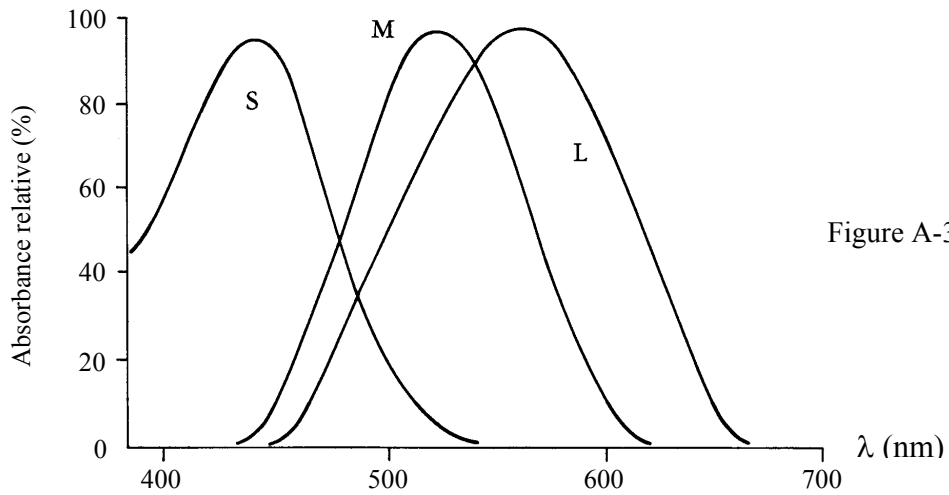
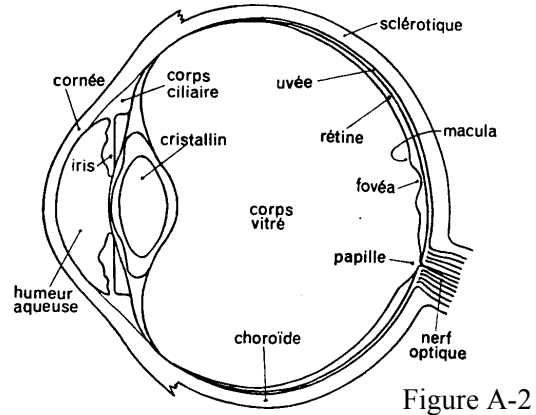
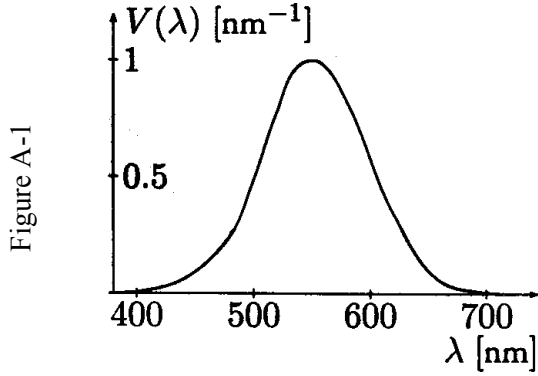
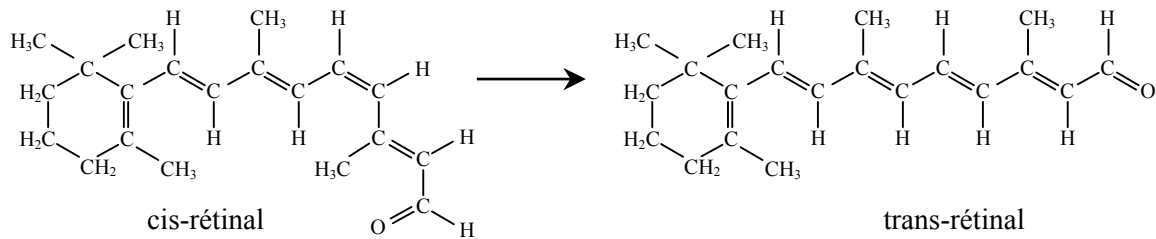


Figure A-4



## GLOSSAIRE

**Attribut** : Caractère précis attaché à une sensation de lumière ou à un stimulus de couleur et contribuant à les décrire. Clarté et teinte sont des attributs de la sensation colorée.

55 **Blancheur** : Attribut d'un stimulus de couleur de surface, lié à une forte clarté et à un faible niveau de coloration.

**Brillance** : Caractère de l'apparence lié à l'état de surface des objets et conditionné par les lumières plus ou moins intenses apparaissant comme superposées à leur surface quand ils sont éclairés.

60 **Chromaticité** : Attribut d'un stimulus de couleur, représenté par sa longueur d'onde dominante, éventuellement par sa longueur d'onde complémentaire et sa pureté ou par ses coordonnées trichromatiques.

**Clarté** : Attribut d'une sensation visuelle, selon laquelle une surface paraît diffuser plus ou moins de lumière relativement à celle reçue.

65 **Composantes trichromatiques** : Grandeurs évaluant les quantités des trois rayonnements primaires qui, dans un système trichromatique, sont nécessaires pour égaliser la couleur considérée.

**Coordonnées trichromatiques** : Projections des composantes trichromatiques dans un plan de luminance constante.

70 **Corps noir (ou radiateur de Planck)** : Corps idéal, totalement absorbant, émettant de ce fait, lorsqu'il est en équilibre thermique, le rayonnement électromagnétique maximal compatible avec sa température.

**Couleur spectrale** : Caractère de l'apparence visuelle qui peut se distinguer du mouvement, de la forme ou des aspects de surface et dont on a appris à nommer les caractères distinctifs par un vocabulaire spécifique.

75 **Couleur complémentaire** : Couleur dont l'addition (lumière) ou le mélange (matière colorée) donne une couleur neutre.

**Cyan** : Couleur de teinte bleu-vert (l'une des trois couleurs primaires pour la trichromie soustractive).

**Diagramme de chromaticité** : Diagramme plan où les points définis par leurs coordonnées trichromatiques représentent les chromaticités des stimulus de couleur.

80 **Illuminant** : Source de rayonnement électromagnétique dans le spectre visible (normalisée par la CIE).

**Lieu du spectre** : Courbe enveloppe de l'espace chromatique qui correspond à des couleurs spectrales monochromatiques.

85 **Ligne des pourpres** : Droite joignant les deux extrémités du lieu du spectre (rouge et violet) ; ces couleurs ne correspondent à aucun rayonnement monochromatique.

**Longueur d'onde dominante** : Longueur d'onde d'un rayonnement monochromatique qui, mélangé de manière additive en proportions convenables à un rayonnement neutre de référence, égalise le rayonnement de couleur considéré.

90 **Luminance** : Grandeur physique caractérisant une surface émettant ou diffusant un rayonnement dans une direction donnée.

**Luminosité** : Attribut d'une sensation visuelle selon laquelle une surface paraît émettre (ou renvoyer) plus ou moins de lumière.

**Magenta** : Couleur de teinte pourpre (l'une des trois couleurs primaires pour la reproduction soustractive).

95 **Opsine** : Protéine constitutive des blocs de pigment visuel (liée à la molécule de rétinol, elle forme la rhodopsine que renferment cônes et bâtonnets).

**Primaires** : Lumières de référence choisies pour réaliser des égalisations visuelles de couleur.

100 **Pureté** : Grandeur évaluant la proportion de rayonnement monochromatique et de rayonnement neutre qui, en mélange additif, égalisent le rayonnement considéré (la pureté est une estimation de la saturation).

**Saturation** : Niveau de coloration d'une surface (évalué relativement à sa luminosité) permettant d'estimer la proportion de couleur chromatique pure dans la sensation globale.

105 **Système trichromatique** : Système de spécification des stimuli de couleur par des composantes trichromatiques, fondé sur des égalisations de couleurs par synthèse additive à l'aide de trois primaires.

**Teinte** : Attribut de la sensation visuelle décrit par des qualificatifs tels rouge, jaune, violet, bleu-vert ...

### Grandeurs et unités radiométriques et photométriques (système international d'unités)

| Grandeur et définition   | Système d'unités   |                                  |
|--|--------------------|----------------------------------|
|  | Energétiques       | Lumineuses                       |
| <b>Flux lumineux (<math>\Phi</math>)</b><br>Quantité de lumière émise ou reçue         | Watt (W)           | lumen (lm)                       |
| <b>Luminance (L)</b><br>Flux lumineux par unité de surface et par unité d'angle solide | $W.m^{-2}.sr^{-1}$ | $cd.m^{-2}$                      |
| <b>Eclairement (E)</b><br>Flux reçu par unité de surface réceptrice                    | $W.m^{-2}$         | lux ou $lm.m^{-2}$               |
| <b>Intensité (I)</b><br>Flux par unité d'angle solide                                  | $W.sr^{-1}$        | candela (cd)<br>( $lm.sr^{-1}$ ) |