

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE

CHU SIDI BEL ABBES

FACULTE DE MEDECINE TALEB MOURAD

BIOPHYSIQUE DE LA VISION

Présenté par Dr. LEKHAL.S

LE PLAN:

I/INTRODUCTION.

II/RAPPEL PHYSIQUE.

III/ RAPPEL ANATOMIQUE.

IV/NOTION DE VISION PHOTOPHIQUE ET SCOTOPHIQUE.

V/PHOTOCHEMIE DE LA RETINE.

VI/SENSIBILITE DE L'ŒIL A LA LONGUEUR D'ONDE.

VII /VISION DES COULEURS.

VIII /LES ANOMALIES DE LA VISION DES COULEURS.

I/ INTRODUCTION :

L'œil est un organe de sens qui permet la vision, sa fonction est de transformer l'information lumineuse en un influx nerveux transmis au cerveau. L'œil humain permet de distinguer les formes et les couleurs.

II/ RAPPEL PHYSIQUE :

II-1/définition de la lumière :

La lumière est une onde électromagnétique qui se caractérise par :

- Sa fréquence ν en Hertz ($\text{Hz} = \text{s}^{-1}$)
- Sa période T en seconde (s) ($T = 1/\nu$)
- Sa longueur d'onde λ (m) : Elle représente la distance parcourue par l'onde pendant une période T

$$\lambda = CT = C / \nu$$

- Son énergie : $E=h\nu$ ($h = 6,625 \cdot 10^{-34} (\text{J}\cdot\text{s})$ = Cte de Planck)

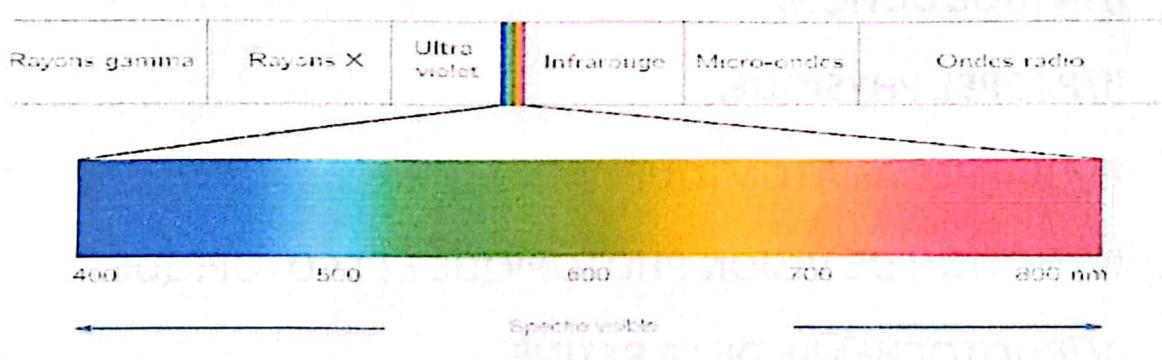


figure 1 :spectre électromagnétique

II-2/ Les unités de grandeur visuelles:

a) Les grandeurs radiométriques :

Ces grandeurs permettent de mesurer –objectivement– l'énergie des rayonnements électromagnétiques émise ou incidente sur une surface, y compris la lumière visible.

a-1) le flux énergétique () :

Soit une source étendue de surface σ émettant dans une direction D° donnée, vers un objet éclairé de section S , dans un angle solide Ω (figure 2).

Chaque point P émet de façon radiale et éclaire l'objet sous l'angle solide Ω .

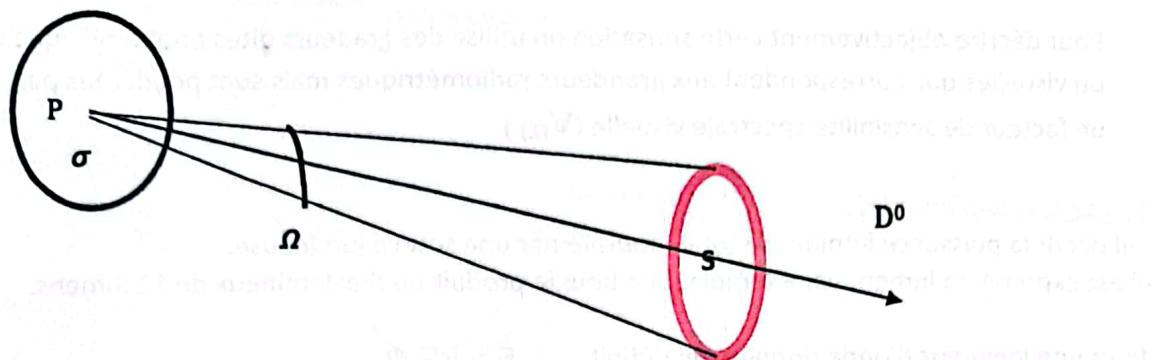


figure 2

le flux énergétique appelé également la puissance, est l'énergie transportée par unité du temps, exprimée en Watt. $\Phi = \frac{dE}{dt}$

a-2) l'éclairement énergétique (ξ):

- Lorsque la lumière émise par cette source touche une plage de surface déterminée on parle d'**éclairement énergétique**
- il représente le flux élémentaire $d\Phi$ par unité de surface dS . Il s'exprime en watt /m²

$$\xi = \frac{d\Phi}{dS}$$

a-3) l'intensité I :

- elle représente le flux énergétique (Φ) d'un rayonnement lumineux émis par une source ponctuelle ,par unité d'angle solide $d\Omega$, dans une direction donnée

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \text{ (watt/stéradian)}$$

a-4) La brillance énergétique B

- on la définit pour une source étendue de surface σ
- Elle correspond au rapport de l'élément d'intensité énergétique sur l'élément de surface de la source. $B = \frac{dI}{d\sigma}$ (watt/stéradian.m²).

b) les grandeurs photométriques :

la sensibilité de l'œil humain à la lumière varie d'un individu à un autre (variation physiologique et psychologique),on dit dans ce cas que la sensation lumineuse est subjective.

Pour décrire objectivement cette sensation on utilise des grandeurs dites photométriques ou visuelles qui correspondent aux grandeurs radiométriques mais sont pondérées par un facteur de sensibilité spectrale visuelle ($V(\lambda)$).

b-1) Le flux lumineux (F):

- il décrit la puissance lumineuse totale fournie par une source lumineuse.
- il est exprimé en lumen, par exemple, une bougie produit un flux lumineux de 12 lumens.

Pour une longueur d'onde donnée, on définit

$$F = kV_\lambda \Phi$$

k: coefficient de proportionnalité

V_λ : coefficient d'efficacité lumineuse

b-2) l'intensité lumineuse (I):

Pour une longueur d'onde donnée on définit :

$$I = kV_\lambda I_\lambda$$

- Elle est exprimée en candela.

Le candela est égal à l'intensité lumineuse émise par une surface continue de 1 cm² dans l'ensemble de l'espace à 1 mètre de distance lorsque l'énergie émise par unité de temps dans l'ensemble des directions est égale à 1/683 watt par stéradian.

b-3) L'éclairement lumineux (E):

-L'éclairement d'une surface est égal au flux lumineux (en Lumen) tombant sur chaque mètre carré de cette surface :

- il est exprimé en lux.

$$E = kV_\lambda \xi$$

b-4) La luminance :

-c'est l'intensité lumineuse produite (ou réfléchie) par une surface et vue d'une direction donnée.

-Elle décrit l'effet de la lumière sur l'œil, c'est la seule grandeur perceptible par l'homme .
-elle est exprimée en candela/m²(nit).

$$L = \frac{I}{S} \quad (\frac{\text{intensité lumineuse en candelas}}{\text{surface en m}^2})$$

$$L = kV_\lambda B$$

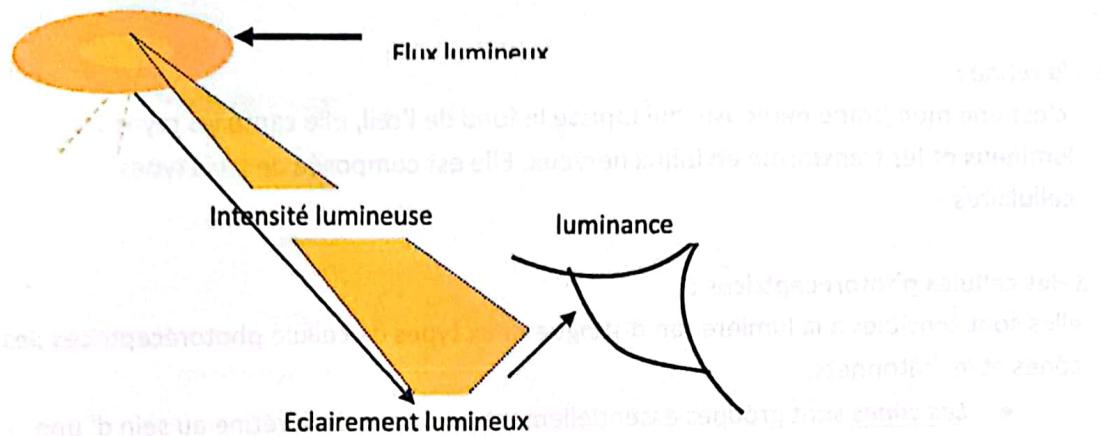


Figure3 :les grandeurs photométriques

III/RAPPEL ANATOMIQUE :

L'oeil est constitué par trois tuniques qui sont concentriquement : la sclérotique, l'uvée, et la rétine et par des milieux transparents qui sont traversés par les rayons lumineux avant d'atteindre le fond de l'oeil : cornée, humeur aqueuse, cristallin et l' humeur vitrée.

III-1 Les tuniques de l'œil :

- **La sclérotique** :c'est une tunique fibreuse protégeant l'œil ; elle est opaque en arrière et transparente en avant formant ainsi la cornée. La sclérotique forme ce que l'on appelle couramment "le blanc de l'œil".
- **L' uvée** :elle est composée de trois éléments :
 - **La choroïde** : est postérieure et richement vasculaire. C'est le tissu nourricier de l'œil.
 - Le corps ciliaire** : c'est la continuité antérieure de la choroïde.
 - L'iris** :c'est est la portion la plus antérieure de l'uvée .il est de structure pigmentée, donnant sa couleur à l'œil et percé d'un trou appelé la pupille qui joue le rôle d'un diaphragme qui permet d'augmenter ou de diminuer la quantité de la lumière qui pénètre dans l'œil.

➤ **la rétine :**

c'est une membrane nerveuse qui tapisse le fond de l'œil, elle capte les rayons lumineux et les transforme en influx nerveux. Elle est composée de trois types cellulaires :

a -**les cellules photoréceptrices :**

elles sont sensibles à la lumière ; on distingue deux types de cellule photoréceptrices : les cônes et le bâtonnets.

- **Les cônes** sont groupés essentiellement au centre de la rétine au sein d'une zone ovaire appelée la macula , elles sont responsables de la vision diurne et nous renseignent sur les détails et la couleur des objets.

- **Les bâtonnets** environ 10 fois plus nombreux que les cônes, sont surtout disposés sur la périphérie de la rétine. Sont très sensibles à la lumière. Ils sont responsables de la vision nocturne (noir et blanc).

b- **Les cellules bipolaires** : transmettent l'influx nerveux des cellules photoréceptrices aux cellules ganglionnaires.

c- **Les cellules ganglionnaires** : situées dans la couche la plus interne de la rétine. Leurs axones convergent pour former le nerf optique.

III-2/ Les milieux transparents :

- **Cristallin** : c'est une lentille souple et transparente située juste derrière l'iris. Il se bombe pour l'accommodation des objets rapprochés et s'aplatit pour celle des objets éloignés.

- **L'humeur aqueuse** : c'est un liquide clair à base d'eau situé entre le cristallin et la cornée, il apporte l'oxygène et les nutriments à la cornée dont elle a besoin. Ce liquide est continuellement renouvelé, maintient la pression oculaire.

- **L'humeur vitré** : c'est une substance gélatineuse qui remplit la chambre postérieur de l'œil.

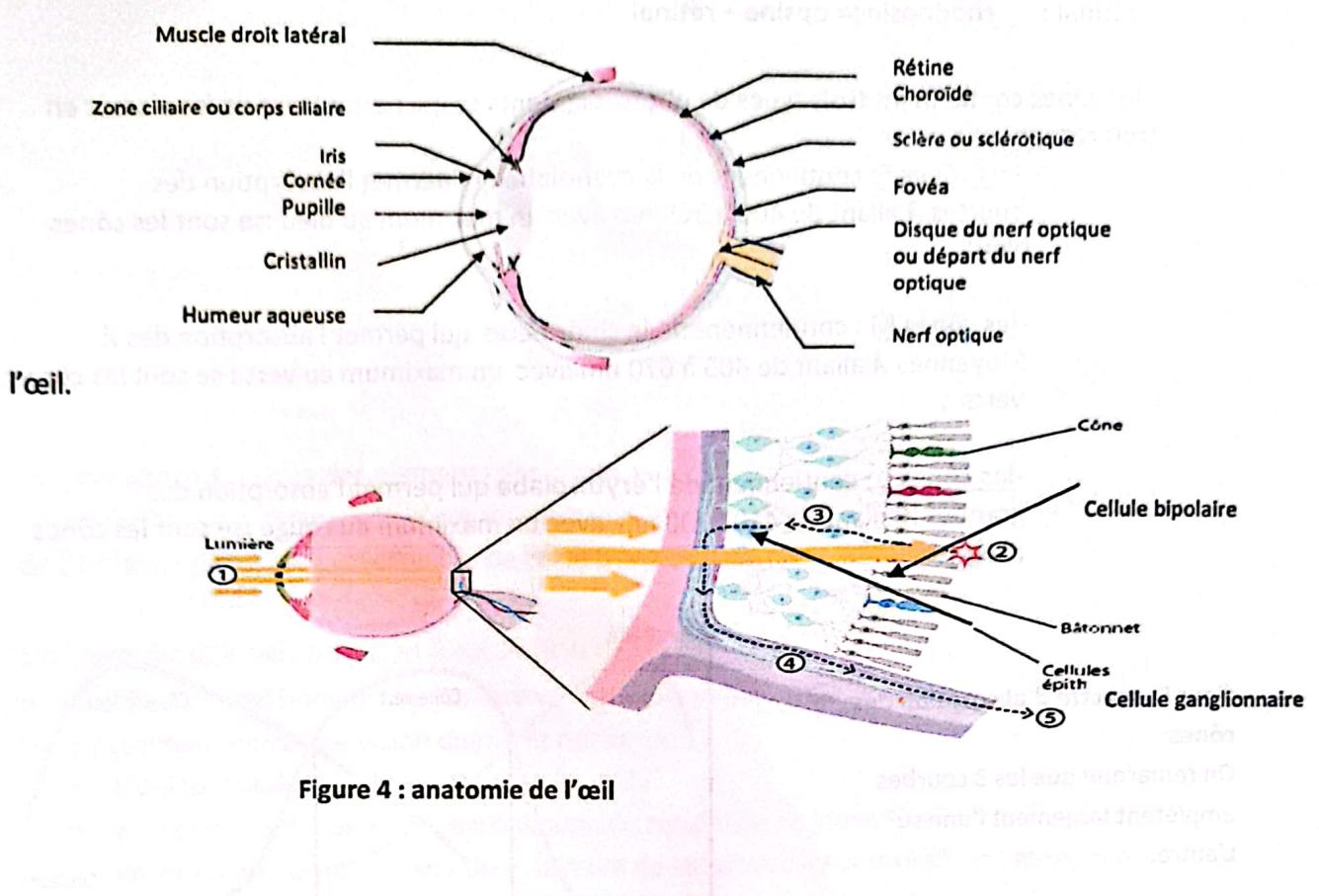


Figure 4 : anatomie de l'œil

IV/NOTION DE VISION PHOTIQUE ET SCOTOPIQUE :

➤ vision photopique (diurne) :

- c'est une vision à forte luminosité, donc vision de jour (exemple : $L > 1\text{ nit}$) ou` les cônes sont sollicités.
- la vision photopique à une faible sensibilité à la lumière mais une forte résolution.

➤ Vision scotopique (nocturne) :

- c'est une vision à faible luminosité, donc vision de nuit (exemple : $L < 10^{-4} \text{ nit}$) ou` les bâtonnets sont sollicités.
- la vision scotopique à une forte sensibilité mais une faible résolution.

V/ PHOTOCHIMIE DE LA RETINE:

Les cellules photoréceptrices contiennent des pigments sensibles à la lumière appelés photo-pigments :

- Les bâtonnets contiennent de la rhodopsine qui donne la couleur pourpre à la rétine, c'est une association d'une protéine, appelée opsine et d'un aldéhyde de la vitamine A, appelé

rétinal : **rhodopsine = opsine + rétinal**

-les cônes contiennent trois types de photo-pigments et qui permettent de les classer en trois catégories :

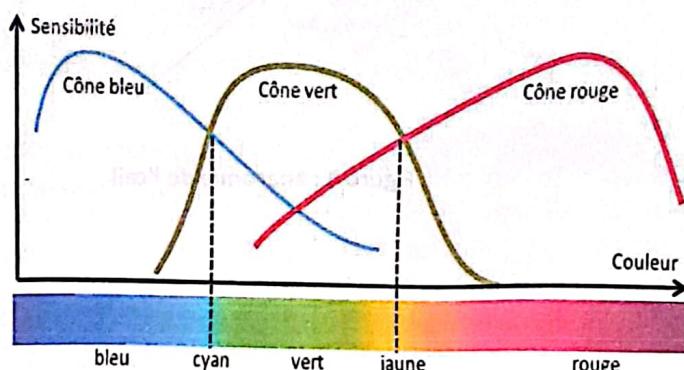
-**les cônes S**: contiennent de la **cyanolabe** qui permet l'absorption des courtes λ allant de 400 à 565 nm avec un maximum au bleu : se sont les **cônes bleus**.

-**les cônes M** : contiennent de la **chlorolabe** qui permet l'absorption des λ Moyennes λ allant de 405 à 670 nm avec un maximum au vert : se sont les **cônes verts**.

-**les cônes L** : contiennent de l'**érythrolabe** qui permet l'absorption des grandes λ allant de 410 à 700 nm avec un maximum au rouge : se sont les **cônes rouges**.

Figur 5: spectre d'absorption des cônes

On remarque que les 3 courbes empiètent largement l'une sur l'autre.



La stimulation de la rétine par un flux de photons lumineux est à l'origine d'une réaction photochimique se réalisant au niveau des photorécepteurs aboutissant à un signal électrique.

Le cycle photochimique de la rhodopsine :

- Sous l'effet de la lumière, le pourpre rétinien se jaunit de faite de l'isomérisation de la molécule de rétinal de la forme cis à la forme trans, le rétinal n'est plus attaché à l'opsine (figure 6) , cela déclenche un signal électrique qui sera transmit à travers des cellules bipolaires puis le cellules ganglionnaires et le nerf optique pour arriver au niveau du cerveau qui l'interprète sous forme d'une sensation lumineuse.
- si l'illumination est forte et prolongée le jaune visuel deviendra un blanc visuel.
- lors de passage à l'obscurité on ne voit rien pendant un moment, les cônes ne fonctionnent plus et les bâtonnets mettent du temps à redevenir fonctionnel :temps nécessaire la régénération de la rhodopsine sous une action enzymatique.

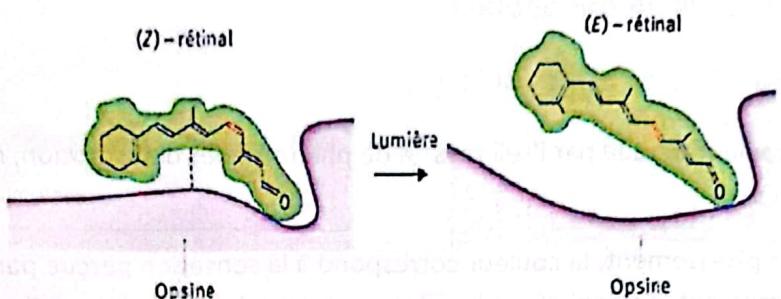


Figure 6

Le cycle photochimique des pigments des cônes :

chacun des trois pigments des cônes va subir une isomérisation de leur rétinal de la forme cis à la forme trans, avec réversibilité de cette transformation.

VII/ Sensibilité de l'oeil à la longueur d'onde :

la sensibilité de l'œil humain à la lumière varie avec la variation de la longueur d'onde et varie également entre une vision diurne et nocturne:

- L'œil est totalement insensible aux IR et UV.
- en vision diurne, on note un maximum de sensibilité au jaune ($\lambda = 555 \text{ nm}$)
- en vision nocturne, on note un maximum de sensibilité au vert (510 nm) alors que l'œil est insensible au rouge.

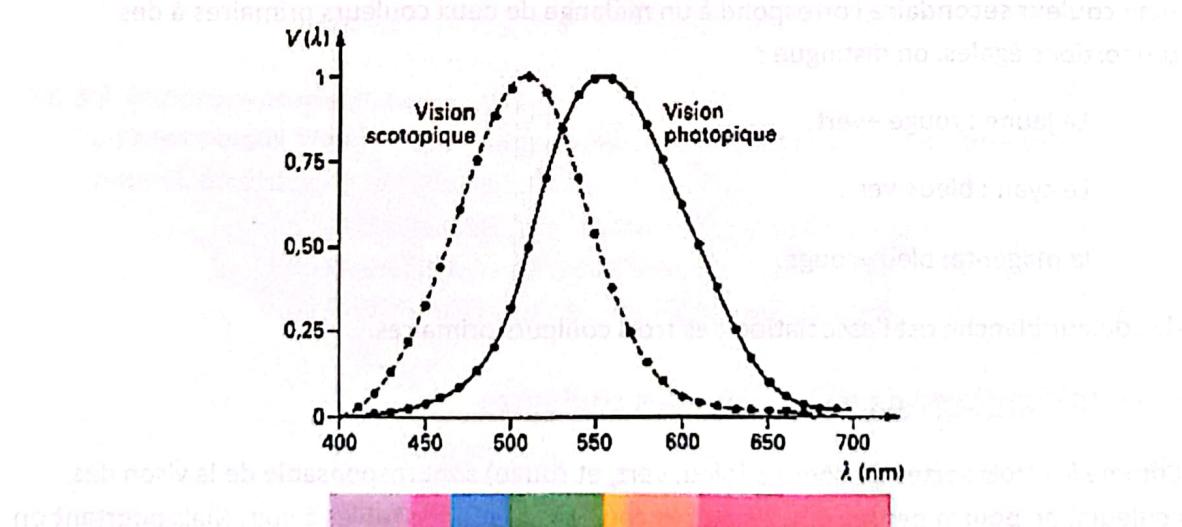


Figure 6 : Sensibilité de l'œil à la longueur d'onde

VIII/La vision des couleurs :

VIII-1/Origine de la couleur :

-la couleur perçue par l'œil résulte de phénomènes d'absorption, réflexion et diffusion de la lumière.

-plus précisément, la couleur correspond à la sensation perçue par le cerveau lorsque l'œil lui transmet le signal d'une lumière correspondant à un intervalle donné de longueur d'onde

VIII-2/Les différentes couleurs de la lumière visible (couleurs spectrales) :

La couleur	Longueur d'onde(nm)
violet	400-430
bleu	43 - 480
vert	480- 560
jaune	560-580
orange	580-620
rouge	620- 800

-Le rouge ,le vert et le bleu sont dites des **couleurs primaires**.

-une couleur secondaire correspond à un mélange de deux couleurs primaires à des proportions égales, on distingue :

Le jaune : rouge +vert.

Le cyan : bleu+ vert.

le magenta: bleu +rouge.

-la couleur blanche est l'association des trois couleurs primaires.

VIII-3/Mécanisme de perception des couleurs :

Comme les trois sortes de cônes s (bleu, vert, et rouge) sont responsables de la vision des couleurs, on pourra penser que les autres couleurs sont impossibles à voir. Mais pourtant on voit des millions de couleurs! C'est parce que certaines couleurs sont détectées par plusieurs cônes différents en même temps (leurs spectres d'absorption se superposent en partie) et que notre cerveau intègre les signaux venant de plusieurs d'entre eux à la fois.

Par exemple, la couleur jaune résulte de la stimulation des cônes verts et des rouges, tandis que les bleus ne sont pas stimulés.

VIII/LES ANOMALIES DE LA VISION DES COULEURS(LES DYSCHROMATOPSIES):

On parle des dyschromatopsies lorsque la capacité de l'œil à distinguer les couleurs et les teintes diffère de la normale, on distingue :

VIII-1/Les monochromatopsies (les achromatopsies)

➤ achromatopsie normale :

- Les cônes ne sont pas fonctionnels et ne répondent pas.
- La vision s'appuie seulement sur les bâtonnets.
- Il en résulte une vision dépourvue de couleur (Scotopique) caractérisée par une faible acuité visuelle.

➤ Achromatopsie dite Anormale :

- Les cônes répondent assez bien.
- l'acuité visuelle est conservée.
- le dysfonctionnement se situe au niveau des voies nerveuses.

VIII-2/les dichromatopsies :

une des 3 catégories de cônes est absente, selon le pigment manquant on observe trois types :

- Protanopies (daltonisme): Aveugles au rouge (Erythrolabe manquant)
- Deutéranopies : Aveugles au vert (Chrolabe manquant)
- Tritanopies : Aveugles au bleu (cyanolabe manquants)

VIII-3/ *Trichromatopsie anormale :*

Le sujet perçoit bien les 3 couleurs primaires, mais en proportion différente du sujet normal, on distingue trois types :

- Les protanomaux: excès de sensation au rouge.
- Les deutéranomaux: excès de sensation au vert.
- Les tritanomaux : excès de sensation au bleu.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE

CHU SIDI BEL ABBES

FACULTE DE MEDECINE TALEB MOURAD

La Tomographie en Cohérence Optique (TOMO) est une technique de diagnostic non invasive qui utilise la lumière pour obtenir des images tridimensionnelles des tissus biologiques.

Le principe est basé sur l'interférence de la lumière entre les tissus et la lumière émise par le projecteur OCT. Des images tridimensionnelles sont obtenues grâce à l'émission de plusieurs séquences de impulsions.

Le principe est basé sur l'interférence de la lumière entre les tissus et la lumière émise par le projecteur OCT. Des images tridimensionnelles sont obtenues grâce à l'émission de plusieurs séquences de impulsions.

La Tomographie en Cohérence Optique (OCT)

Le principe est basé sur l'interférence de la lumière entre les tissus et la lumière émise par le projecteur OCT. Des images tridimensionnelles sont obtenues grâce à l'émission de plusieurs séquences de impulsions.

PLAN :

I/ INTRODUCTION.

II/ RAPPEL PHYSIQUE.

III/INTERACTION DE LA LUMIERE AVEC LE TISSU BIOLOGIQUE.

IV/INTERFEROMETRE DE MICHELSON.

V/PRINCIPE DE L'OCT

I/INTRODUCTION :

-La Tomographie en Cohérence Optique (couramment désignée par son acronyme anglais OCT – pour Optical Coherence Tomography), est une nouvelle technique d'imagerie médicale (1990-2000) non invasive qui utilise une onde lumineuse pour capturer en quelques secondes des images tridimensionnelles de la pièce à explorer.

-son principe est basé sur l'interaction de la lumière (à faible cohérence) avec les tissus biologique en utilisant un dispositif appelé interféromètre de MICHELSON .

-elle constitue un examen de routine en ophtalmologie permettant une étude réelle et rapide du globe oculaire (répine, du nerf optique, de la cornée, de la chambre antérieure, et de l'angle irido cornéen) ; elle est également utilisée en dermatologie et en cardiologie.

II/RAPPEL PHYSIQUE :

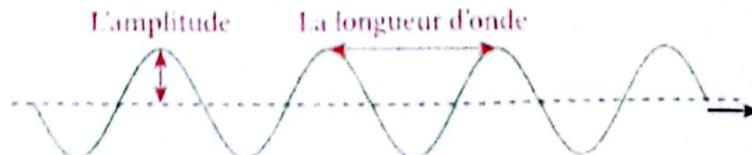
II-b/caractéristiques de la lumière :

-la lumière est une onde électromagnétique ayant une propagation sinusoïdale.

-chaque onde lumineuse est caractérisée par sa :

- **Vitesse de propagation(C)** : dans le vide, elle est constante pour toutes les ondes lumineuses : $C=3.10^8$ m/s.
- **La longueur d'onde (λ)** : c'est la distance spatiale sur laquelle s'étend un cycle complet d'ondulation.
- **La fréquence(f)** : c'est le nombre de cycles complets de l'onde par seconde passant par un point donné de l'espace tel que $f = C / \lambda$.
- **L'amplitude (a)** : c'est le déplacement maximal de l'onde par rapport à la ligne médiane (la ligne en pointillée sur le schéma de Fig .1). C'est la hauteur au sommet d'une crête ou au fond d'un creux.

Fig.1



- **La phase (Φ):**

-c'est une mesure de l'état d'évolution d'un cycle en un point particulier de l'espace.

-elle est exprimée en degré ($^{\circ}$), elle varie entre 0° et 360°

- elle compare le rythme de deux ou plusieurs ondes lumineuses.

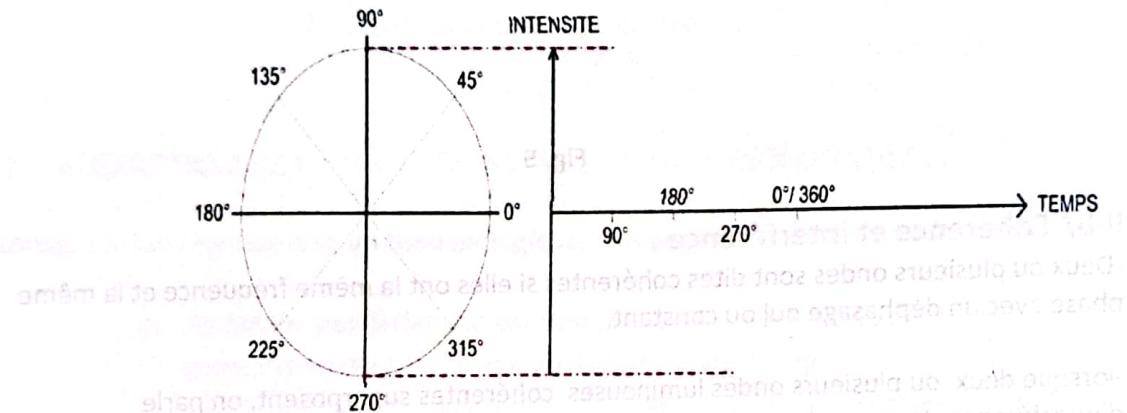


Fig.2

ainsi pour : $\Phi=90^{\circ} \Leftrightarrow \Phi=\lambda/4$

$\Phi=180^{\circ} \Leftrightarrow \Phi=\lambda/2$

$\Phi=270^{\circ} \Leftrightarrow \Phi=3\lambda/4$

$\Phi=360^{\circ} \Leftrightarrow \Phi=\lambda$

deux signaux sont en phase s'ils sont superposés

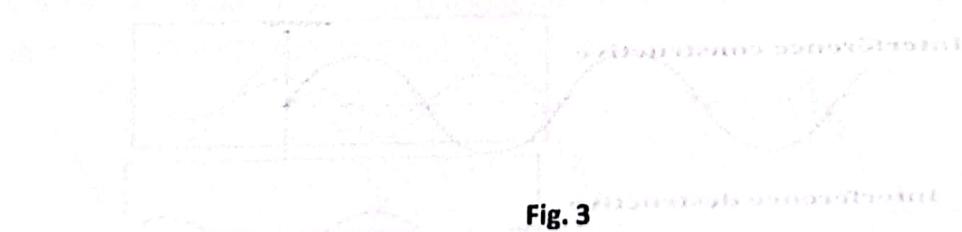


Fig. 3

deux ondes décalées sont déphasées

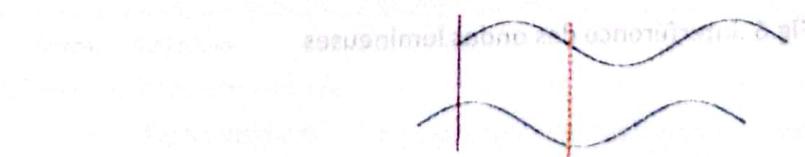


Fig. 4

(Φ) second état

Deux ondes déphasées de 180° sont en opposition de phase

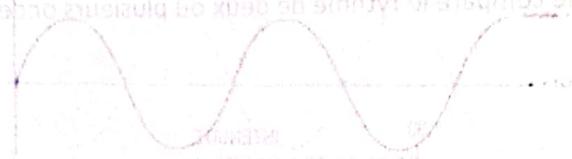


Fig. 5

II-b/ Cohérence et interférence :

-Deux ou plusieurs ondes sont dites cohérentes si elles ont la même fréquence et la même phase avec un déphasage nul ou constant.

-lorsque deux ou plusieurs ondes lumineuses cohérentes superposent, on parle d'interférence de ces ondes.

-l'interférence est :

- constructive si les ondes déplacement dans la même direction.
- destructive si les ondes déplacements dans les directions opposées..

S.3.12

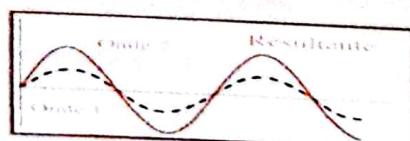
$\Delta\lambda = \Phi \Rightarrow \Delta\phi = \Phi$: auquel émis

$\Delta\lambda = \Phi \Rightarrow \Delta\phi = \Phi$

$\Delta\lambda = \Phi \Rightarrow \Delta\phi = \Phi$

Interférence (suite)

Interférence constructive



Interférence destructive

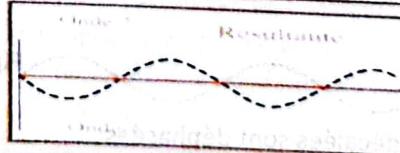


Fig.6 :interférence des ondes lumineuses

On peut visualiser cette interférence sur un écran sous forme des franges linéaires ou circulaires sombres (dues à des interférences destructives) et brillante (dues à des interférences constructives)

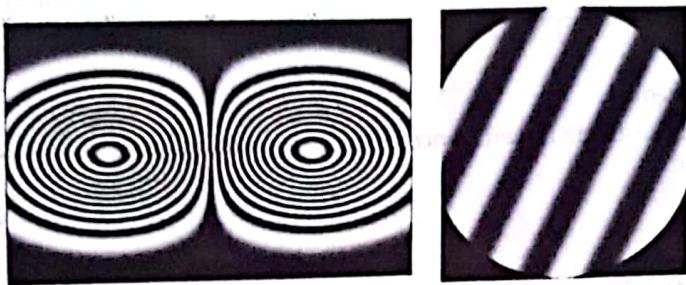


Fig7. :les franges d'interférence

III/INTERACTION DE LA LUMIERE AVEC LES TISSUS BIOLOGIQUES :

Lorsque la lumière traverse un tissu biologique, elle peut être :

1. Atténuee par l'effet d'absorption, l'absorption est inversement proportionnelle à la longueurs d'onde élevée : c'est dans la région rouge et proche infrarouge (typiquement entre 700 nm à 1000 nm) que l'absorption globale des tissus biologiques est minimale.
2. Diffusée en se propagent dans toutes les directions
3. Transmise en traversant ce tissu biologique.
4. réfléchie :la composition du tissu biologique est hétérogène donc, l'indice de réfraction diffère d'une structure à une autre et c'est cette variation de l'indice de réfraction qui est à l'origine de la réflexion de rayonnement lumineux :plus cette variation est grande plus que la réflexion est importante.

La réflexion, l'absorption et la diffusion de la lumière par les tissus constituent la source de contraste des images d'OCT.

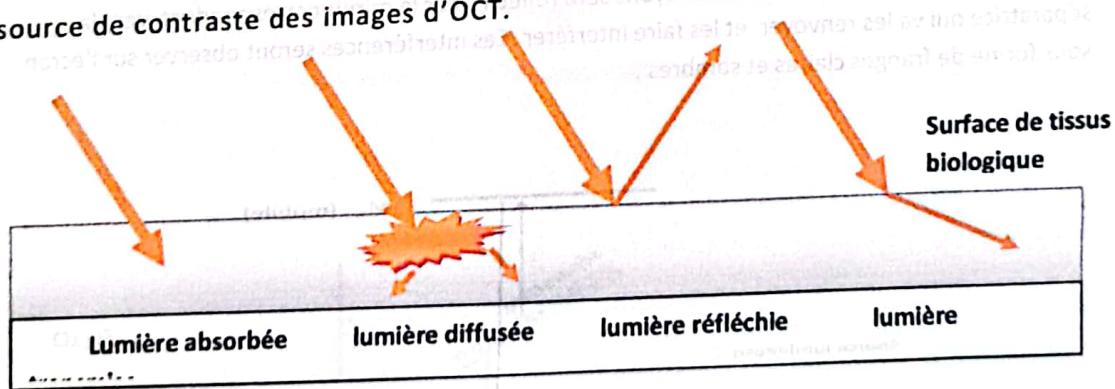


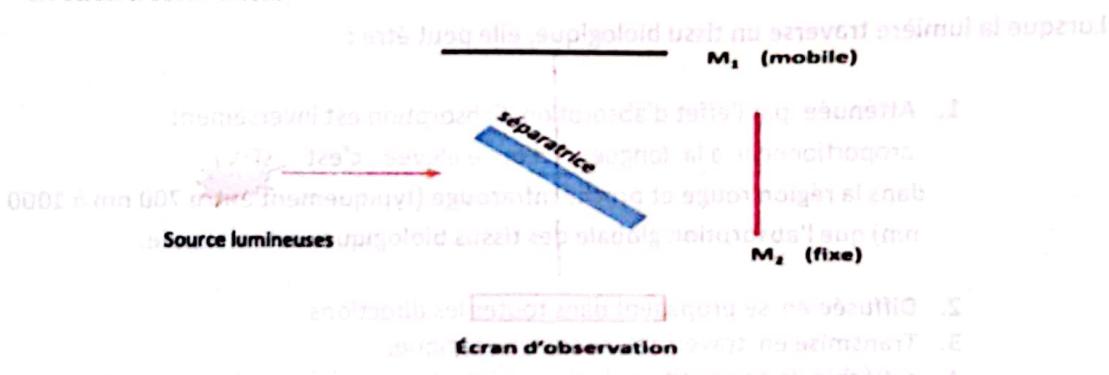
Fig.8 : interaction de la lumière avec les tissus biologiques

III/INTERFEROMETRE DE MICHELSON :

Composition de l'appareil (Fig9):

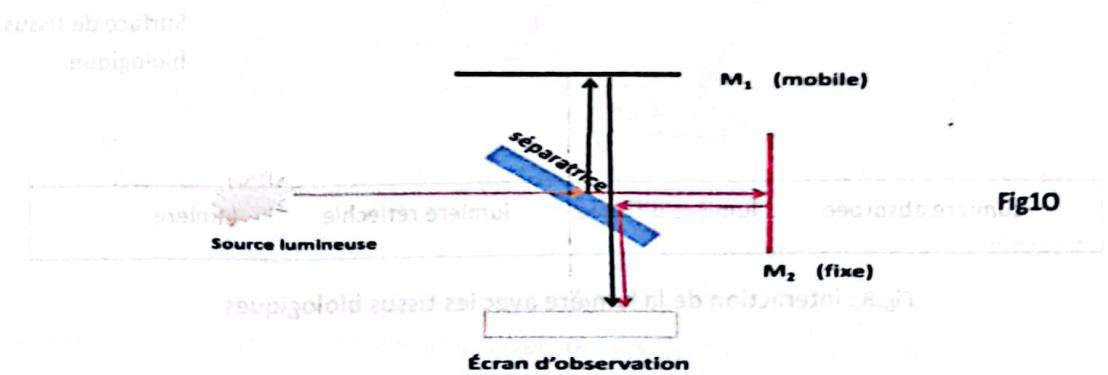
C'est un appareil optique produisant de l'interférence et permettant de mesurer de très petits déplacements, il est composé :

- d'une source lumineuse.
- deux miroirs M_1, M_2 placées à 90° entre eux ,un qui est mobile et l'autre qui est fixe .
- une lame séparatrice semi-réfléchissante qui transmis la moitié le l'intensité lumineuse et réfléchie l'autre moitié ;on appelle les bras de l'interféromètre la distance entre la séparatrice et chaque une des deux miroirs.
- un écran d'observation.



Le principe (Fig9 et 10) :

- Le faisceau incident arrive au niveau de la séparatrice, la moitié est transmis vers M_1 et l'autre moitié vers M_2 ,chaque un des deux rayons sera réfléchi par le miroir correspondant vers la séparatrice qui va les renvoyer et les faire interférer .Ces interférences seront observer sur l'écran sous forme de franges claires et sombres .



IV/ PRINCIPE DE L'OCT (Fig12):

- Ce dispositif est basé sur le principe de l'interféromètre de Michelson.
- Le système optique projette une lumière cohérente- dans le domaine de l'infrarouge- sur la lame séparatrice placées à 45°,et qui sépare le faisceau en deux :une partie va éclairer le miroir de référence (bras mobile),tandis que l'autre partie va éclairer la cible(la rétine habituellement).
- L'interféromètre corrèle les signaux de ses deux bras : la lumière retro diffusée de l'échantillon(échos optique) interfère avec la lumière réfléchie par le miroir de référence avec un temps de parcours connu.

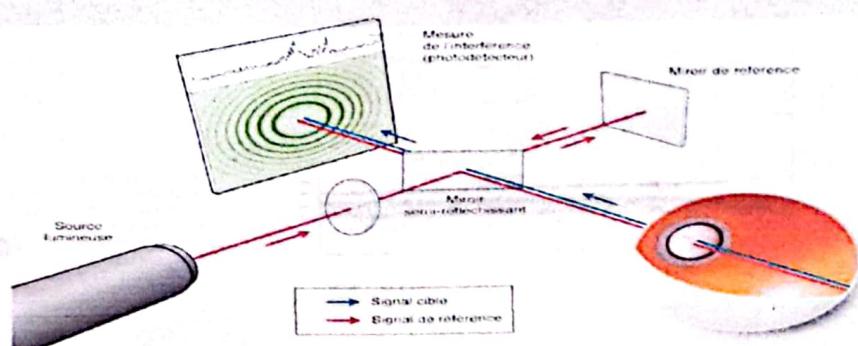


Fig11

-ces interférences seront enregistrées sous forme d'un interférogramme qui obtenu, en représentant l'intensité des franges en fonction de la profondeur de l'échantillon en μm , tel que la profondeur correspond à la position de miroir.

Cet interférogramme permet grâce à un traitement mathématique la formation de l'image sur l'écran d'observation
intensité

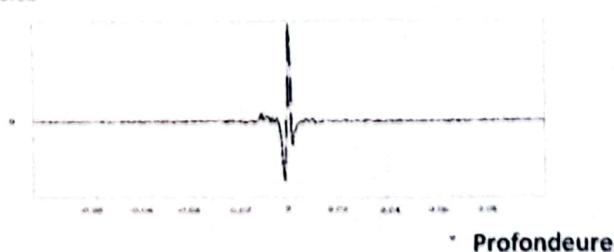


Fig.12 : Interférogramme

-l'OCT permet une exploration sur quelques centimètres de profondeur mais avec une résolution de quelle que micromètres (voire 10 micromètres en ophtalmologie).

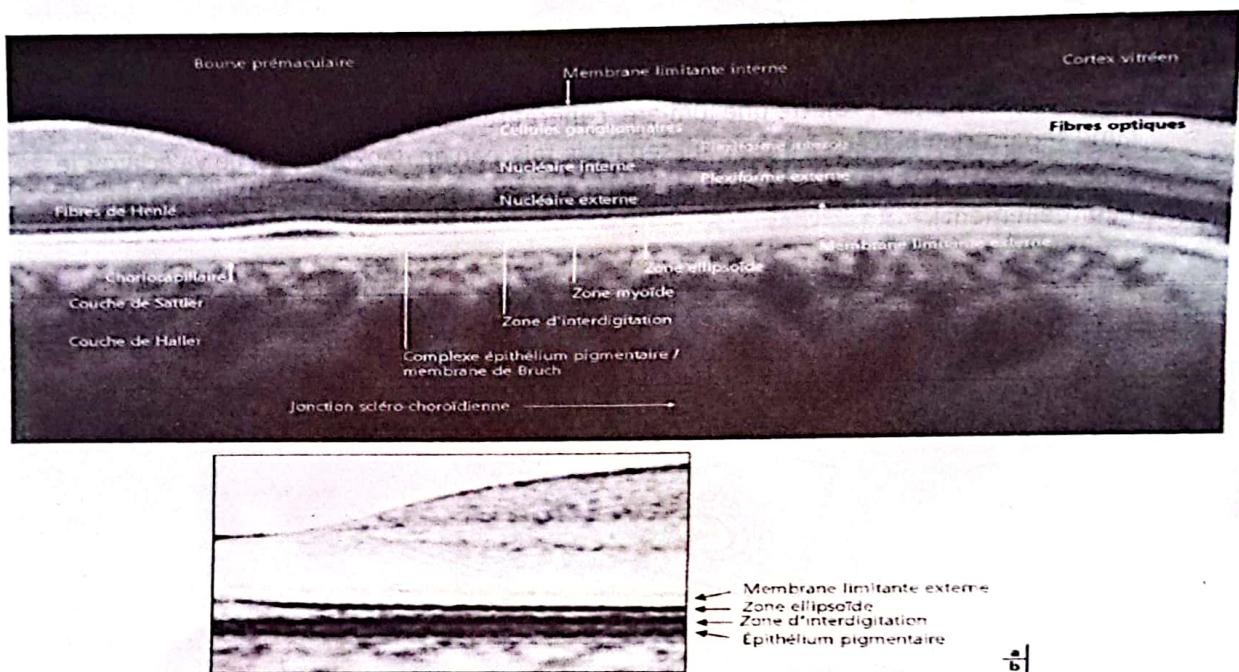


Fig13. :OCT normal de la rétine

Le scanner à cohérence d'onde permet une exploration sur quelques centimètres de profondeur mais avec une résolution de quelques micromètres (voire 10 micromètres en ophtalmologie). Il permet de visualiser les couches de la rétine et de détecter des anomalies telles que les dégénérations, les décollements de la rétine, les tumeurs, etc.

