



# LA RÉTINE ET LE NERF OPTIQUE

## AUTEURS

**Erica Fletcher** : Université de Melbourne

**Roger Anderson** : Université d'Ulster

## RÉVISION PAR LES PAIRS

**Thomas Freddo** : Université de Waterloo

## CONTENU DU CHAPITRE

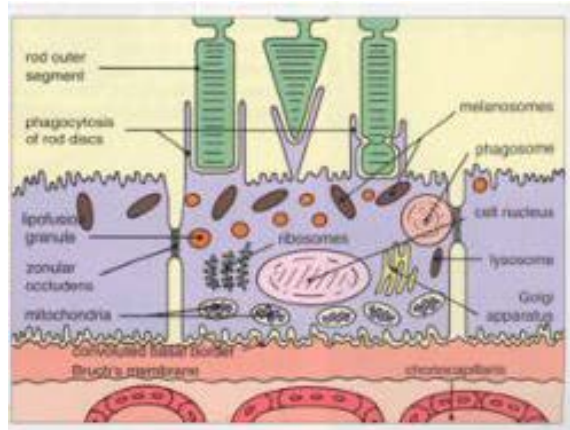
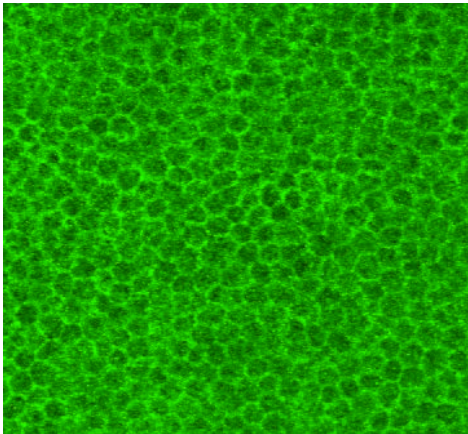
1. Introduction
2. L'épithélium pigmentaire rétinien
3. La neuro-rétine
4. Spécificités et repères locaux de la rétine
5. Types de cellules et connectivité neuronale à l'intérieur de la rétine
6. Le nerf optique
7. Lecture complémentaire

## INTRODUCTION

La rétine constitue la couche la plus interne du globe oculaire et sa fonction consiste à convertir l'énergie lumineuse en influx nerveux. Elle est délimitée à l'intérieur par le corps vitré et à l'extérieur par la membrane de Bruch de la choroïde. L'ensemble de la rétine est composé de l'épithélium pigmentaire rétinien (EPR), des cellules épithéliales spécialisées qui jouent un rôle important dans le maintien de l'intégrité des photorécepteurs, et de la neuro-rétine, qui contient tous les neurones importants dans les premiers stades du traitement de la vision. Ci-après, nous décrirons tout d'abord l'EPR, puis nous exposerons les principales caractéristiques de la neuro-rétine.

## L'ÉPITHELIUM PIGMENTAIRE RÉTINIEN

L'épithélium pigmentaire rétinien (EPR) se présente comme une couche simple de cellules de forme hexagonale qui s'étend entre la membrane de Bruch et la neuro-rétine (Figure 6.1). Les cellules de l'EPR, qui contiennent un niveau élevé de mélanine dans leur moitié apicale, sont riches en transporteurs et en pompes métaboliques. L'EPR joue un rôle essentiel dans le maintien de la structure normale et de l'intégrité de la rétine en exerçant les cinq fonctions suivantes :



**Figure 6.1 :** (A) L'EPR de la rétine humaine visible comme un mont plat. L'EPR est composé de cellules de forme hexagonale (B) représentation schématique du contenu d'une cellule de l'EPR.

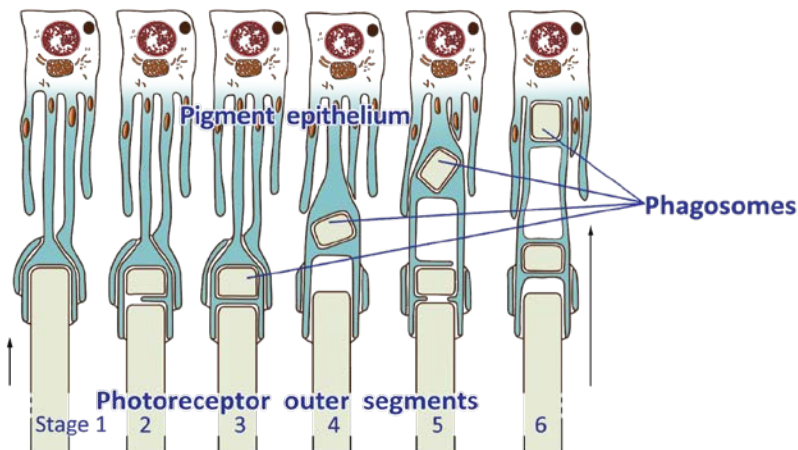
### i) Absorption des lumières parasites

Les granules de mélanine absorbent les longueurs d'onde visibles, empêchant la réflexion interne des lumières parasites à l'intérieur du globe oculaire et améliorant ainsi l'acuité.

### ii) Transport actif de métabolites

Le bord en volutes de la membrane de Bruch augmente la surface disponible pour les métabolites qui se diffusent à partir de la chorio-capillaire et facilite l'excrétion active des déchets. Une molécule clé qui est transportée à travers l'EPR est la vitamine A, qui est essentielle pour fournir le chromophore aux photorécepteurs.

### iii) Phagocytose des articles externes des photorécepteurs



**Figure 6.2 :** Représentation schématique montrant la phagocytose d'un article externe par les cellules de l'EPR. Image inspirée de {<http://webvision.med.utah.edu/book/part-ii-anatomy-and-physiology-of-the-retina/photoreceptors/>}

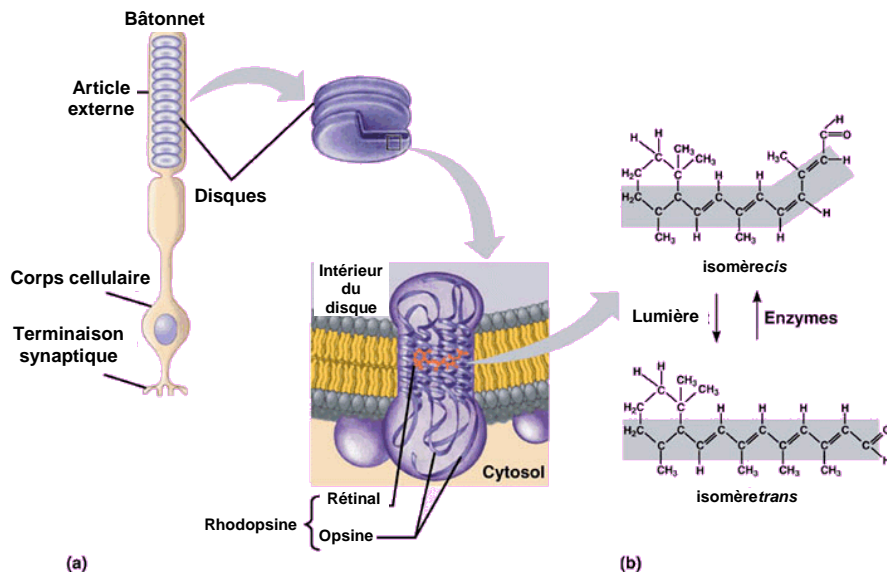
Les articles externes des photorécepteurs contiennent des piles de disques chargés de photopigments qui sont formés en continu. L'EPR phagocyte les disques usés pour former les particules encapsulées à l'intérieur des cellules de l'EPR, connues sous le nom de phagosomes (Figure 6.2). Les articles externes des photorécepteurs se lient à des récepteurs éboueurs spécifiques tels que le MerTK, qui sont exprimés à la surface apicale des cellules de l'EPR. Les articles externes sont ensuite engloutis et dégradés par l'action des lysosomes afin d'être recyclés ou excrétés dans la chorio-capillaire. Avec l'âge, ce processus devient moins efficace et des particules partiellement digérées restent dans l'EPR, comme la lipofuscine, ou dans la membrane de Bruch, formant les drusens.

#### iv) Formation de la barrière hémato-rétinienne

Les cellules de l'EPR sont reliées par une série de jonctions serrées. En plus de permettre le transport actif à travers les cellules, les jonctions serrées (zonula occludens) qui relient les cellules empêchent la diffusion libre de substances de la chorio-capillaire à la neuro-rétine. Ces jonctions serrées, associées à celles des cellules endothéliales situées dans le système vasculaire rétinien, forment la barrière hémato-rétinienne.

#### v) Recyclage des photopigments

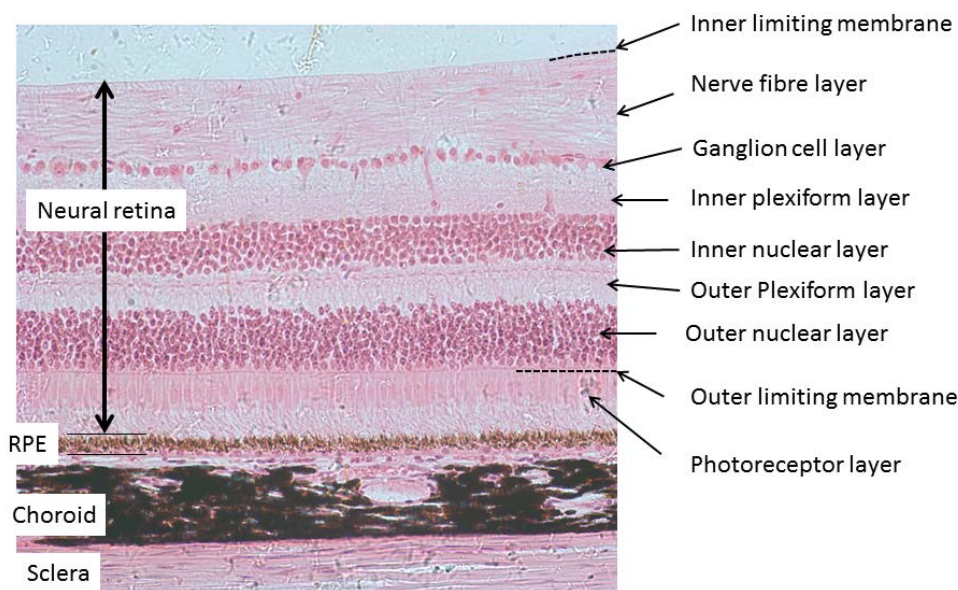
L'EPR joue un rôle déterminant dans le « cycle rétinol », un processus important pour retourner les photorécepteurs activés par la lumière à leur état de repos. La lumière qui atteint les articles externes des photorécepteurs initie un changement de conformation du 11-cis rétinol (Figure 6.3), le chromophore qui est normalement attaché à la rhodopsine. La lumière cause le changement du 11-cis rétinol en trans-rétinol, entraînant l'activation de la rhodopsine et stimulant une cascade des protéines G qui, à terme, conduit à la fermeture des canaux sodiques dépendants du GMP cyclique et à l'hyperpolarisation du potentiel des photorécepteurs de la membrane. Afin que les photorécepteurs reviennent à leur état de repos, le trans-rétinol doit être converti à nouveau en 11-cis rétinol. Ce processus se déroule à l'intérieur des cellules de l'EPR dans le cadre du cycle rétinol. Le trans-rétinol est transporté par une protéine de transport liant le rétinol entre les photorécepteurs (IRBP) vers l'EPR, où elle est isomérisée selon une série de stades. Le dernier stade implique le transport du 11-cis rétinol de la cellule de l'EPR vers le photorécepteur par l'intermédiaire de l'IRBP.



**Figure 6.3** Représentation schématique d'un disque de photorécepteur. {Image provenant de <http://www.chm.bris.ac.uk/motm/retinal/retinalv.htm>}

## NEURO-RÉTINE

La neuro-rétine est composée de couches alternées de corps cellulaires de neurones et de couches synaptiques (Figure 6.4). Les couches suivantes sont présentées dans l'ordre, de la rétine externe (c.-à-d. au plus proche de la choroïde et de la sclère) à la rétine interne (au plus proche de l'intérieur du globe oculaire).



**Figure 6.4 :** Coupe transversale de la rétine montrant les couches.

### 1. Couche de photorécepteurs (CPR)

Elle est composée des articles externes et internes des cônes et des bâtonnets. Tandis que l'article externe du photorécepteur contient des disques chargés de photopigments, l'article interne, qui constitue l'« usine » du photorécepteur, est constitué de l'ellipsoïde (contenant de nombreuses mitochondries) et du myoïde (contenant l'appareil de Golgi et des ribosomes). Les photorécepteurs sont plus nombreux au niveau de la fovéa, où les besoins en acuité visuelle sont les plus importants.

### 2. Membrane limitante externe (MLE)

Il ne s'agit pas d'une réelle membrane, mais elle représente la limite externe des *cellules gliales de Müller* qui s'étendent à l'intérieur jusqu'à la surface du vitré. La MLE est composée de contacts jonctionnels (jonctions de la zonula adherens) entre les procès des cellules de Müller et les articles internes des photorécepteurs avoisinants. Elle est considérée comme importante pour le maintien de la position des photorécepteurs et en particulier du contact entre l'article externe et les cellules de l'EPR.

### 3. Couche nucléaire externe (CNE)

Elle contient les noyaux des cônes et des bâtonnets. Les noyaux des cônes sont relativement plus larges. Les cônes présentent peu ou pas de fibres externes, c'est pourquoi les noyaux apparaissent plus proches de la MLE. Cette couche est plus épaisse au niveau de la fovéa, où de nombreuses couches de noyaux sont visibles.

### 4. Couche plexiforme externe (CPE)

La CPE contient les terminaisons synaptiques des photorécepteurs ainsi que les neurones de deuxième ordre (cellules bipolaires et horizontales). Les synapses présentes entre les bâtonnets et les neurones de deuxième ordre sont appelées des sphérules, tandis que celles d'un cône sont appelées des pédicules. La synapse d'un bâtonnet, connue sous le nom de sphérule, ne contient qu'une seule « triade » de procès. La terminaison synaptique d'un cône, connue sous le nom de pédicule, contient jusqu'à 20 « triades ». Une triade correspond à une disposition synaptique au niveau de la terminaison synaptique d'un photorécepteur situé à l'invagination du pédicule ou de la sphérule.

### 5. Couche nucléaire interne (CNI)

Elle est composée des noyaux des neurones de deuxième ordre, c.-à-d. les cellules *bipolaires*, *horizontales* et *amacrines*, ainsi que des noyaux des cellules de Müller.

### 6. Couche plexiforme interne (CPI)

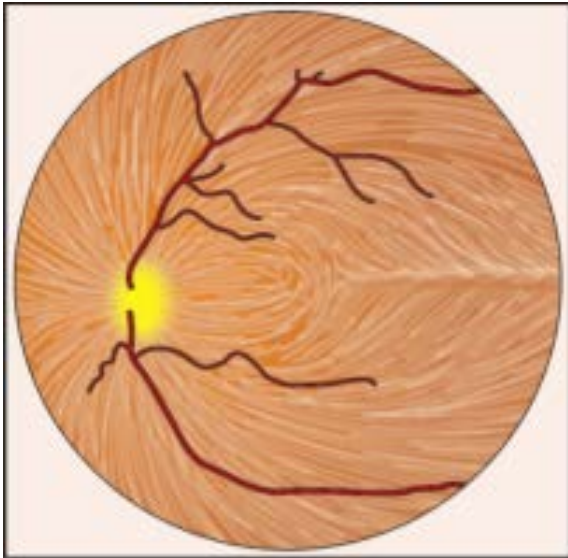
Elle contient les procès des cellules ganglionnaires, amacrines et bipolaires, ainsi que leurs synapses.

## 7. Couche de cellules ganglionnaires

Elle contient les noyaux des neurones de troisième ordre (cellules ganglionnaires). Ces cellules accumulent les messages provenant des cellules amacrines et bipolaires puis transmettent le signal par l'intermédiaire d'un long axone vers les centres visuels supérieurs.

## 8. Couche de fibres nerveuses (CFN)

Elle est composée des axones des cellules ganglionnaires de la rétine. Les axones tournent perpendiculairement aux noyaux pour s'étendre de manière arquée sur la surface interne de la rétine, en direction de la papille du nerf optique (Figure 6.5).



## 9. Membrane limitante interne (MLI)

De même, la MLI n'est pas une réelle membrane ; elle constitue les terminaisons des cellules gliales de Müller. Sa surface interne est en contact avec le vitré.

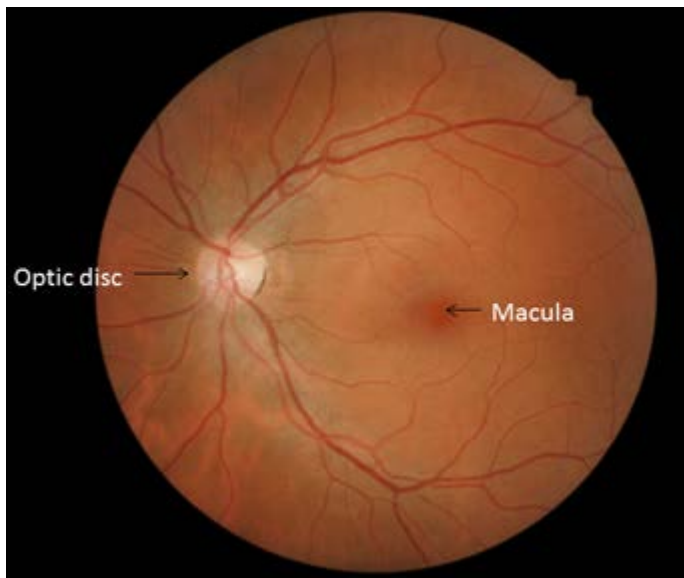
# SPÉCIFICITÉS ET REPÈRES LOCAUX DE LA RÉTINE

Une vue ophtalmoscopique du fond d'œil rétinien est présentée à la Figure 6.6. Les caractéristiques du fond d'œil rétinien sont décrites de manière plus détaillée ci-dessous.

## Disque du nerf optique ou papille du nerf optique

Le disque du nerf optique correspond à la portion visible de la papille du nerf optique à l'intérieur de l'œil et se présente comme une tache verticale de couleur jaune et de forme ovale, située à 5 mm de la fovéa sur la partie nasale du fond d'œil (Figure 6.6). Il est composé des axones des cellules ganglionnaires de la rétine, ainsi que de leur tissu glial et de leurs vaisseaux sanguins. Sa taille varie selon les individus (1 à 2 mm verticalement), toutefois les disques plus larges, définis par un anneau d'Elschnig externe plus large, laissent plus de place aux axones pour passer à travers et sont donc plus susceptibles de présenter un vide sous la forme de l'excavation optique. Étant donné qu'aucun photorécepteur n'est présent sur le disque du nerf optique, un point aveugle physiologique existe à cet endroit.



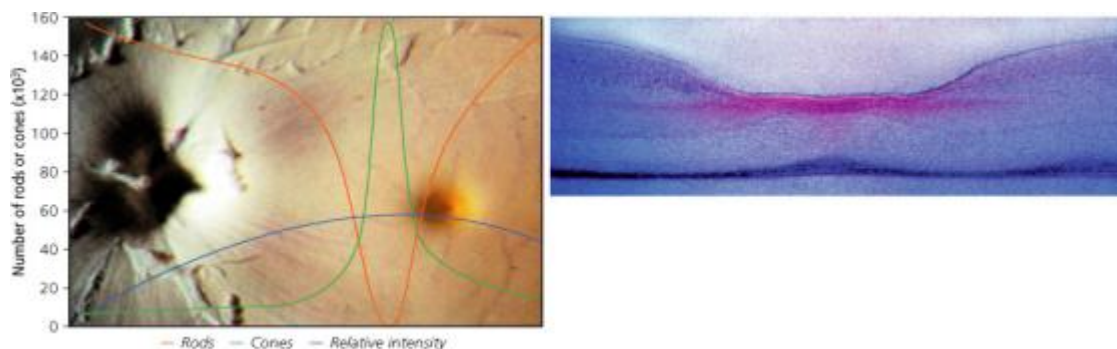


**Figure 6.6 :** Photo du fond d'œil rétinien montrant le nerf optique et la macula.

La papille du nerf optique sert également de point d'entrée du globe oculaire pour l'artère et la veine centrales de la rétine. Ces vaisseaux bifurquent verticalement pour former les arcades veineuses et artérielles inférieures et supérieures qui irriguent la rétine interne (la rétine externe est irriguée à partir de la choroïde).

### Macula

La macula de la rétine centrale mesure 5 à 6 mm de diamètre et apparaît plus foncée que le reste de la rétine en raison d'un EPR plus dense et de la présence de caroténoïdes jaunes (lutéine et zéaxanthine) principalement dans la couche plexiforme externe (Figure 6.7).

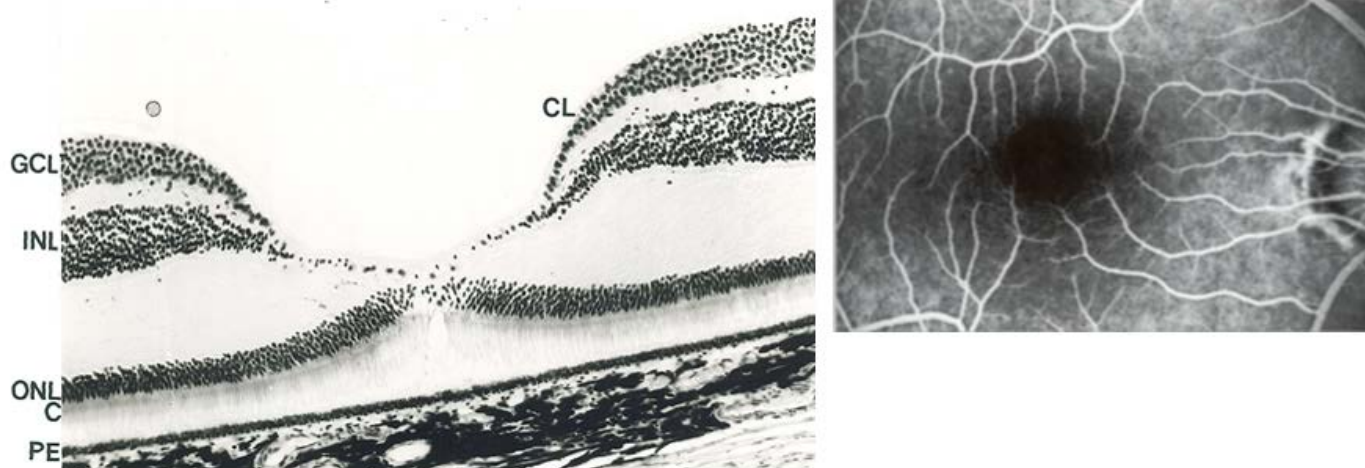


**Figure 6.7 :** La lutéine et la zéaxanthine (caroténoïdes) visibles dans la couche plexiforme externe au niveau de la macula.

Les caroténoïdes, qui ont suscité beaucoup d'intérêt ces dernières années, ont probablement une fonction triple :

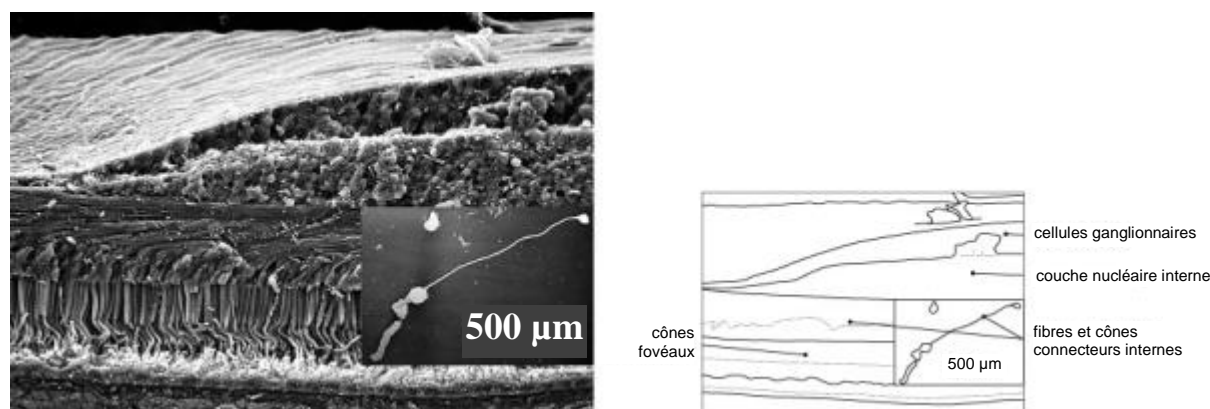
- i Une *protection antioxydante* de la macula (une région à haute consommation d'O<sub>2</sub>)
- ii Un *filtre* pour la lumière à courte longueur d'onde (de forte énergie)
- iii Une amélioration de la *qualité de l'image* par filtration sélective du « brouillard bleu » présent dans l'environnement et/ou de la diffusion intraoculaire des longueurs d'onde courtes.

## Fovéa



**Figure 6.8 :** Apparence de la région fovéale centrale de la rétine. Cellules ganglionnaires et bipolaires déplacées sur le côté afin d'augmenter la visibilité des photorécepteurs. Abréviations : EPR - épithélium pigmentaire rétinien ; PRC - photorécepteurs de cône ; CNE - couche nucléaire externe ; CNI - couche nucléaire interne ; CCG - couche de cellules ganglionnaires ; CL - clivus (B) : Image provenant d'une angiographie à la fluorescéine, qui montre le pôle postérieur présentant une pigmentation plus importante au niveau de la fovéa et la zone fovéolaire avasculaire qui dissimule la fluorescence sous-jacente de la choroïde.

La fovéa correspond à la région de la rétine centrale où l'acuité visuelle est la meilleure. Elle prend la forme d'une dépression large d'environ 1,5 mm, causée par le déplacement des neurones d'ordre supérieur (cellules ganglionnaires et bipolaires ; Figure 6.8) afin de minimiser la diffusion de la lumière qui frappe les photorécepteurs. Le déplacement des vaisseaux sanguins de la rétine sur cette même région à partir de la région fovéale forme une zone fovéolaire avasculaire (ZFA) (Figure 6.8) afin de minimiser les angioscotomes (obscurisation des photorécepteurs par les vaisseaux sanguins) dans cette région à l'acuité élevée. Les fibres des photorécepteurs déviées sont visibles au niveau de la fovéa et forment la *couche fibreuse de Henle* (Figure 6.9). La couche fibreuse de Henle est équivalente à la couche plexiforme externe de la région maculaire.



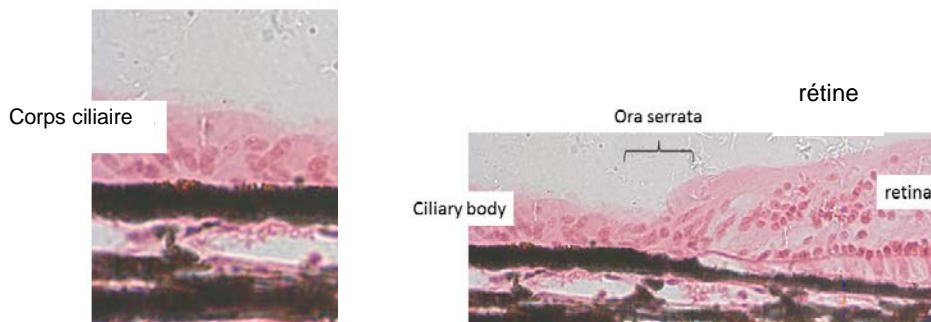
**Figure 6.9 :** La couche fibreuse de Henle constituée des fibres des photorécepteurs situés à proximité de la fovéa.

## Fovéola

Elle se situe au fond de la dépression fovéale, à environ 0,4 mm de profondeur.

## Ora serrata

Nommée ainsi d'après son apparence en dents de scie, l'ora serrata correspond à la jonction périphérique antérieure située entre la neuro-rétine et le corps ciliaire (Figure 6.10). Les dentelures sont normalement présentes seulement du côté nasal de l'œil. Du côté temporal, la jonction entre la rétine périphérique et le bord postérieur du corps ciliaire correspond généralement à une ligne droite.

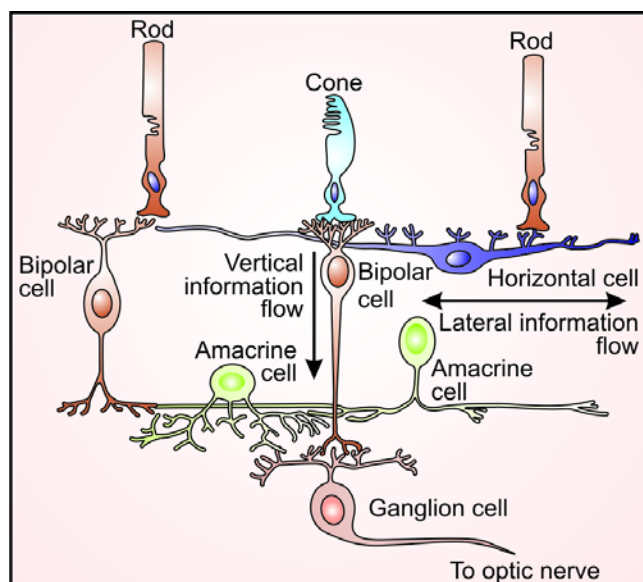


**Figure 6.10** : Coupe verticale c

## TYPES DE CELLULES ET CONNECTIVITÉ NEURONALE À L'INTÉRIEUR DE LA RÉTINE

Le circuit principal par lequel les informations relatives à la lumière sont converties en influx nerveux puis transmises à la rétine implique la communication des photorécepteurs avec les cellules bipolaires, qui à leur tour communiquent avec les cellules ganglionnaires, principaux neurones de sortie de la rétine (Figure 6.11). Ce circuit est qualifié de voies rétinienne transversales.

La modulation de ces voies rétinienne transversales est effectuée dans la rétine externe par les neurones latéraux et les cellules horizontales, et dans la rétine interne par les cellules amacrines. Les cellules horizontales et amacrines forment ainsi les interactions latérales de la rétine.



**Figure 6.11** : Les principaux circuits de régulation de la vision. Les voies rétinienne transversales impliquent la formation d'une synapse entre les cônes et les cellules bipolaires, qui à leur tour forment une synapse avec les cellules ganglionnaires. Les cellules horizontales et amacrines constituent les éléments latéraux pour la régulation du circuit rétinien principal.

### Photorécepteurs :

Il existe deux types principaux de photorécepteurs dans la rétine humaine ; les cônes et les bâtonnets, qui régulent respectivement les visions scotopique (nocturne) et photopique (diurne). Dans la rétine humaine, les bâtonnets



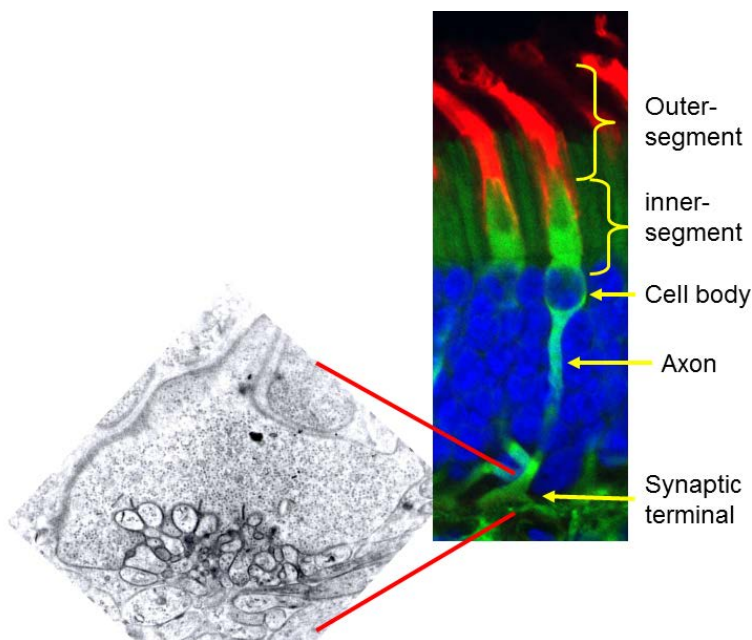
existent en nombre bien plus élevé que les cônes, avec un ratio de 20 cônes pour un bâtonnet. Le nom de cône ou de bâtonnet provient de la forme de l'article externe, qui est long et cylindrique dans les bâtonnets, tandis qu'il est de forme conique à travers la majeure partie de la rétine pour les cônes, à l'exception de la zone fovéolaire.

Il existe trois types de cônes différents, qui possèdent une sensibilité maximale dans les régions, rouge, verte ou bleue du spectre. La rétine contient environ 120 millions de photorécepteurs, qui se connectent à environ 10 millions de neurones de deuxième ordre (cellules bipolaires), qui se connectent à leur tour à environ 1 million de neurones de troisième ordre (cellules ganglionnaires).

Il existe donc un processus de « convergence » sur la plupart de la rétine, à l'exception de la fovéa, où il s'agit d'une connexion « en chaîne » entre les photorécepteurs, les cellules bipolaires et les cellules ganglionnaires afin d'assurer une résolution élevée.

La structure d'un photorécepteur est présentée sur la Figure 6.12. L'article externe, situé plus près de l'EPR, contient de nombreux photopigments chargés de disques. L'article interne héberge des organites essentiels, tels que des mitochondries et l'appareil de Golgi. Le corps cellulaire est situé à l'intérieur de la CNE. Un axone s'étend à partir du corps cellulaire pour former une terminaison synaptique à l'intérieur de la CPE. Les synapses de la CPE sont qualifiées de triades car elles impliquent une communication entre trois processus neuronaux : la terminaison d'un photorécepteur, une cellule bipolaire et deux processus d'une cellule horizontale. Les terminaisons des cônes sont appelées les pédicules, tandis que celles des bâtonnets sont appelées les sphérules.

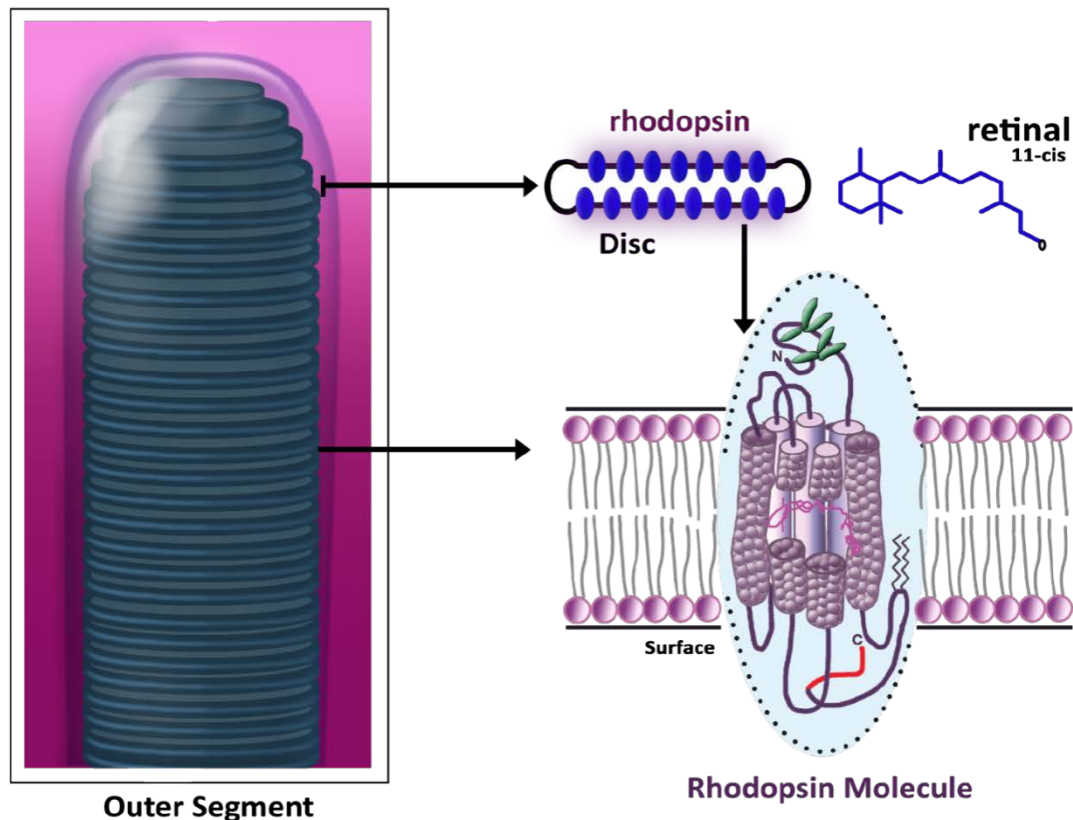
Le photopigment correspond à une protéine transmembranaire qui subit un changement de conformation lorsqu'il absorbe un photon de lumière visible. La rhodopsine correspond au photopigment contenu dans les bâtonnets, tandis que les cônesopsines correspondent aux photopigments exprimés dans les cônes. Chaque molécule de pigment est attachée à un dérivé de la vitamine A appelé le rétinal. Le rétinal agit un peu comme l'antenne d'une télévision. Il correspond au composant qui capture les photons, en déclenchant ainsi la série d'événements appelée **phototransduction**. Les photorécepteurs ne génèrent pas de potentiels d'action (car ils ne possèdent pas d'axones). À la place, leurs terminaisons libèrent des neurotransmetteurs de manière plus ou moins continue selon le potentiel de leur membrane. Plus elles sont dépolarisées, plus elles libèrent de neurotransmetteurs ; lorsqu'elles sont hyperpolarisées, elles libèrent moins de glutamate.



**Figure 6.12 :** Le photorécepteur d'un cône présentant les différents compartiments cellulaires

Les photorécepteurs ont la curieuse caractéristique de se dépolariser dans l'obscurité. La lumière entrante provoque l'hyperpolarisation des photorécepteurs et ceux-ci relâchent alors moins de neurotransmetteurs. S'il est donc certain qu'ils répondent aux altérations de l'éclairage, il est relativement faux d'affirmer que leur réponse nerveuse est stimulée par la lumière.

En quelques mots, voici comment ils fonctionnent. La cellule reste dépolarisée tandis que les canaux sodiques présents dans l'article externe sont ouverts (influx de  $\text{Na}^+$ ). Lorsque le rétinal est stimulé par la lumière, il change de configuration et la rhodopsine est activée. Cela entraîne une réduction enzymatique des niveaux intracellulaires de GMP cyclique. Étant donné qu'une grande partie des canaux sodiques est dépendante du GMP cyclique, les canaux se ferment et les cellules sont davantage polarisées. Ses terminaisons libèrent ainsi moins de neurotransmetteurs.

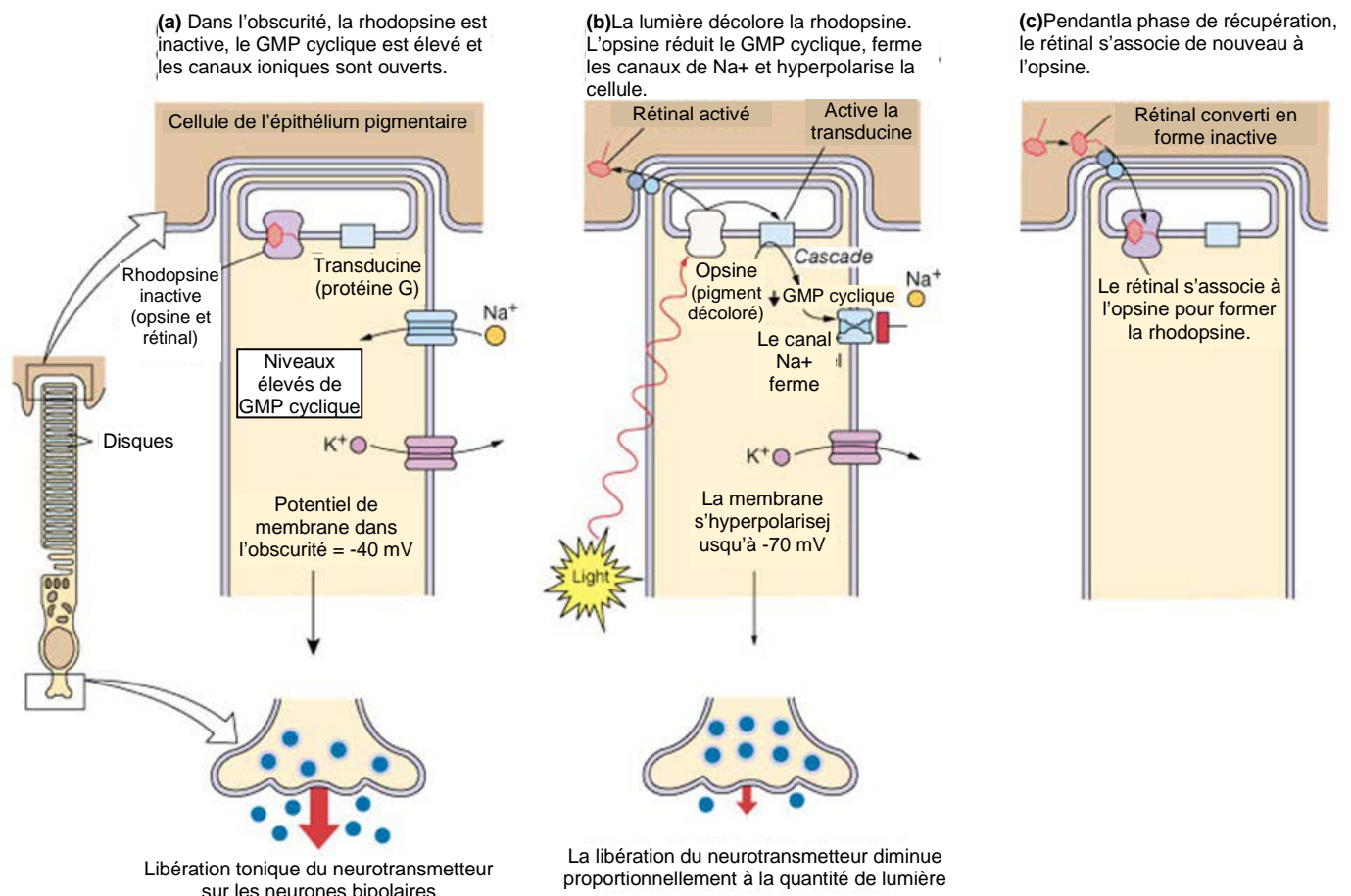


**Figure 6.13** : L'article externe d'un bâtonnet présentant des disques. Chaque disque contient le photopigment : la rhodopsine.

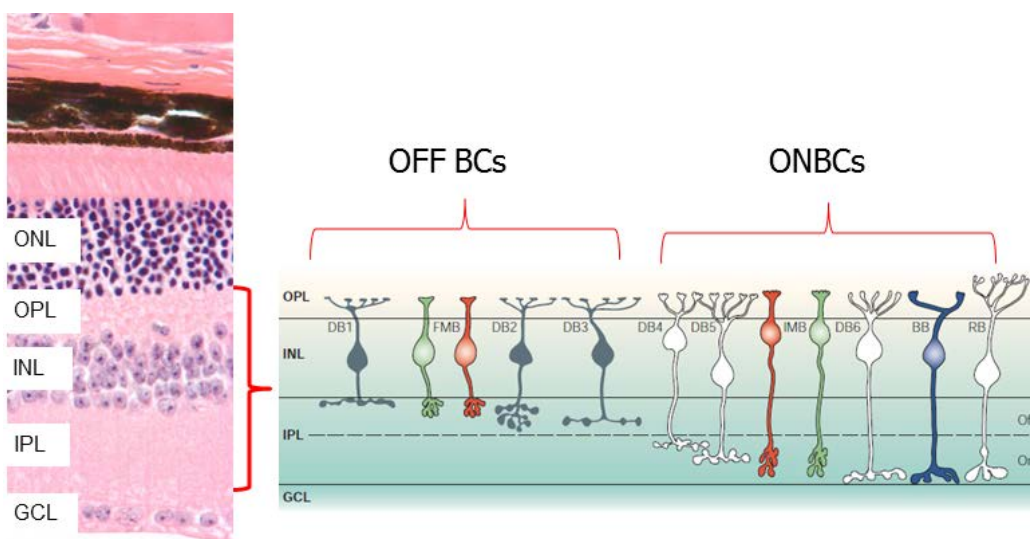
**Phototransduction** : afin de comprendre les informations relatives aux molécules, nous nous concentrerons sur la rhodopsine. Le photopigment en lui-même n'est pas directement connecté à un canal ionique. Le rétinale, situé à proximité du centre, est entouré de sept domaines protéiques. Dans l'obscurité, les photorécepteurs sont dépolarisés car les canaux sodiques dépendants du GMP cyclique qui résident à l'intérieur de la membrane de l'article externe du photorécepteur sont ouverts, ce qui permet l'influx d'ions sodium. L'influx d'ions sodium résulte en un potentiel de membrane d'environ -40 mV.

Lorsqu'un photon de lumière frappe l'article externe d'un photorécepteur, il se produit un changement de conformation au niveau du 11-cis rétinale, le chromophore attaché à la rhodopsine. Ce changement de conformation du 11-cis rétinale en trans-rétinale active une cascade des protéines G. Les stades comprennent :

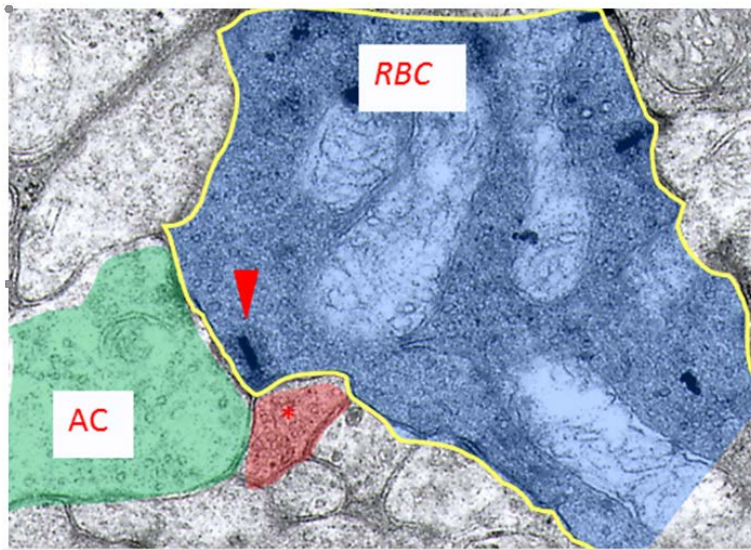
- i) l'évolution du 11-cis rétinale en trans-rétinale et l'activation de la rhodopsine
- ii) l'activation de la transducine
- iii) l'activation de la phosphodiesterase
- iv) Dégradation du GMP cyclique par la phosphodiesterase.
- v) Fermeture des canaux sodiques.
- vi) Réduction de l'entrée de sodium dans l'article externe du photorécepteur et par conséquent l'hyperpolarisation du potentiel de la membrane



Les **cellules bipolaires** correspondent aux principaux neurones de deuxième ordre (Figure 6.15). Comme leur nom l'indique, elles sont formées d'un corps cellulaire constitué de deux procès qui se projettent à partir de ce dernier (c.-à-d. qu'elles sont de forme bipolaire). Les cellules bipolaires reçoivent des messages provenant des photorécepteurs à l'intérieur de la CPE, et fournissent des messages synaptiques aux cellules ganglionnaires et amacrines. Il existe au moins 10 types différents de cellules bipolaires dans la rétine humaine ; neuf reçoivent les informations provenant des cônes et un reçoit les informations provenant uniquement des bâtonnets. Les cellules bipolaires répondent à la lumière incidente sur leur champ récepteur soit en se dépolarisant à la lumière (cellules bipolaires ON), soit en s'hyperpolarisant à la lumière (cellules bipolaires OFF). Elles libèrent le neurotransmetteur, le glutamate, de manière progressive selon le changement de potentiel de la membrane.



La synapse présente entre les cellules bipolaires et les neurones de troisième ordre et cellules amacrines et ganglionnaires est appelée une dyade en raison de la communication des procès des cellules bipolaires avec deux éléments neuronaux. Cela est présenté dans la micrographie électronique à la Figure 6.16.



**Figure 6.16** : une synapse en dyade dans la CPE Sur cette image, la terminaison de la cellule bipolaire d'un bâtonnet est indiquée en bleu. La libération du neurotransmetteur se produit au niveau du ruban synaptique (indiqué)

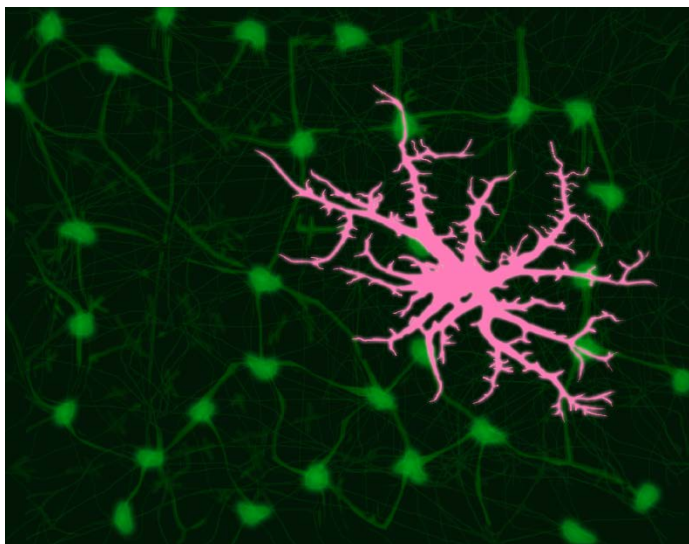
Bien que les photorécepteurs libèrent tous du glutamate comme leur neurotransmetteur, les effets du glutamate sur les cellules bipolaires varie selon le type de cellule bipolaire. Les cellules bipolaires ON sont activées (dépolarisées) par la réponse des photorécepteurs à la lumière, tandis que les cellules bipolaires OFF sont inhibées (hyperpolarisées). Au niveau cellulaire, la réponse d'une cellule bipolaire au glutamate dépend du récepteur du glutamate qui est exprimé par la cellule. Dans le cas des cellules bipolaires ON, le mGluR6 est le récepteur exprimé, tandis que les récepteurs ionotropiques du glutamate dont les récepteurs AMPA ou kainite sont les récepteurs du glutamate exprimés par les cellules bipolaires OFF. C'est en raison de ces actions du glutamate sur ces deux différents types de récepteurs du glutamate que les cellules bipolaires dépolarisent ou hyperpolarisent. Cela entraîne un traitement parallèle de l'information visuelle au niveau de la première synapse de la rétine, située entre les photorécepteurs et les cellules bipolaires.

### Cellules horizontales

Les cellules horizontales étendent leurs dendrites horizontalement à travers la rétine (Figure 6.17). Elles reçoivent des messages provenant des photorécepteurs et renvoient également des informations aux photorécepteurs. Elles sont donc essentielles pour la modulation des voies rétinienne transversales et en particulier pour la constitution d'un circuit neuronal important car elles permettent de créer une enveloppe autour du champ récepteur des cellules ganglionnaires. Leurs noyaux sont situés dans la CNI, à la frontière de la CPE.

D'un point de vue fonctionnel, les cellules horizontales reçoivent les messages provenant des photorécepteurs par l'intermédiaire des récepteurs ionotropiques du glutamate (ainsi un photorécepteur dépolarisé dépolarise également une cellule horizontale). Les terminaisons des cellules horizontales libèrent le transmetteur inhibiteur de GABA sur les régions présynaptiques d'autres photorécepteurs situés un peu plus loin. Les cellules horizontales fournissent ainsi un mécanisme de retour d'informations important qui régule les voies rétinienne transversales.

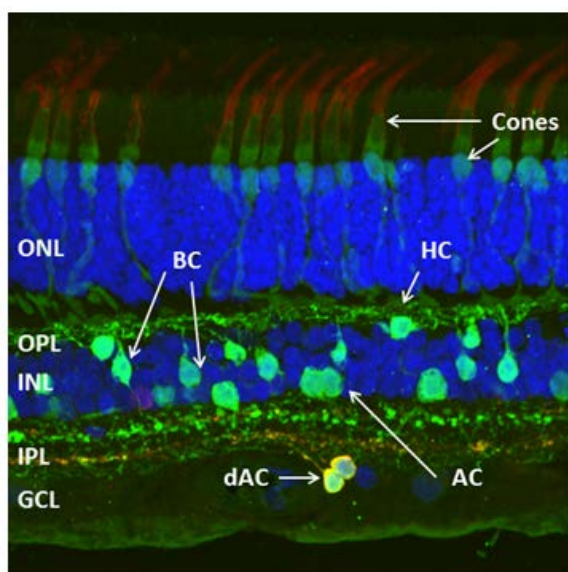




**Figure 6.17** : une cellule horizontale sur une vue en coupe de la rétine. Ces cellules étendent des procès qui entrent en contact avec les photorécepteurs (indiqués en vert).

### Cellules amacrines

Moins bien comprises, les cellules amacrines agissent comme des neurones intermédiaires entre les cellules bipolaires et les neurones de troisième ordre (CG ; Figure 6.18). Elles ne possèdent aucun axone et étendent leurs dendrites horizontalement à travers la rétine. Leurs noyaux sont visibles du côté interne de la CNI. Elles contribuent également au centre / à l'enveloppe des CG et jouent probablement un rôle dans un mécanisme de retour d'informations négatives rétinienne et dans l'adaptation de la sensibilité rétinienne. Deux types de cellules amacrines qui ont fait l'objet d'études approfondies sont la cellule amacrine AII, qui constitue un interneurone essentiel dans la voie des bâtonnets, et la cellule amacrine de type starburst, qui est importante pour la détection des mouvements.



**Figure 18** : Une coupe verticale de la rétine montrant les différents types neuronaux qui forment la CNI. Les cellules horizontales (CH), un sous-type de cellules bipolaires (CB) et deux types de cellules amacrines (CA, CAd) sont indiquées en vert. Certaines cellules amacrines sont déplacées (CAd) vers la couche de cellules ganglionnaires.

### Cellules ganglionnaires

Les cellules ganglionnaires correspondent aux neurones de sortie de la rétine ; elles sont situées dans la couche de cellules ganglionnaires avec les cellules amacrines déplacées. Du point de vue morphologique, il existe au moins 20 types différents de cellules ganglionnaires. Il existe différentes classes fonctionnelles de cellules ganglionnaires, dont les cellules ganglionnaires de petite taille, parasol, bistratifiées et intrinsèquement photosensibles. Les cellules ganglionnaires reçoivent des messages provenant des cellules bipolaires et amacrines situées dans la CPI, et envoient un long axone unique qui passe par la couche de fibres nerveuses pour rejoindre le nerf optique puis les

centres cérébraux supérieurs. À l'intérieur de la rétine, les axones des cellules ganglionnaires sont démyélinisées. Au niveau de la lame criblée, les cellules ganglionnaires deviennent toutefois myélinisées.

Les cellules ganglionnaires de petite taille sont les plus nombreuses de la population de cellules ganglionnaires et possèdent de petits noyaux ainsi qu'un petit arbre dendritique dense. Impliquées dans la haute résolution spatiale, elles sont plus nombreuses dans la rétine centrale, où elles peuvent se connecter avec une seule cellule bipolaire et un seul photorécepteur (convergence « zéro »). Elles se connectent principalement avec les couches parvocellulaires du noyau du corps genouillé latéral (CGL) dans le cerveau antérieur.

Les cellules ganglionnaires parasol représentent environ 10 % du nombre total de CG. Dotées de noyaux à grandes cellules et d'arbres dendritiques de grande taille, elles présentent des réponses en grande partie achromatiques, ainsi que des propriétés de conduction rapide et de réponse temporelle élevée. Elles se projettent principalement vers les couches magnocellulaires du CGL.

La cellule ganglionnaire bistratifiée de petite taille possède un petit noyau et un arbre dendritique de taille moyenne mais éparse. Elle est nommée ainsi car elle forme une synapse à deux niveaux dans la CPI. La vitesse de conduction est lente et la projection se fait vers les couches koniocellulaires du CGL.

D'un point de vue fonctionnel, les cellules ganglionnaires génèrent des potentiels d'action (envoyés le long des nerfs optiques) et augmentent ces impulsions en réponse à l'excitation provenant des cellules bipolaires. De même, il existe deux classes fonctionnelles : Les cellules ganglionnaires ON reçoivent des entrées excitatrices provenant des cellules bipolaires ON, et les cellules ganglionnaires OFF reçoivent des entrées excitatrices provenant des cellules bipolaires OFF. Cela signifie qu'il existe des cellules ganglionnaires de petite taille de type ON, des cellules ganglionnaires de petite taille de type OFF, des cellules parasol ON, et ainsi de suite.

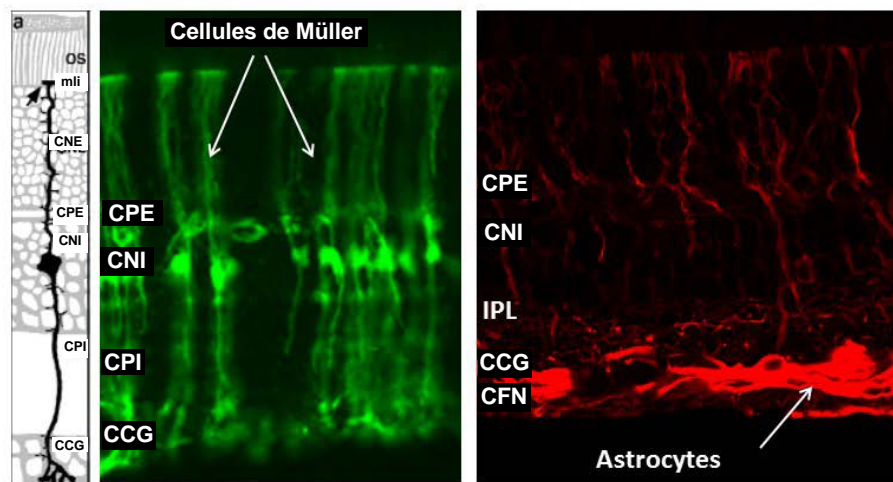
**Champs récepteurs des cellules ganglionnaires** : Le champ récepteur de la cellule ganglionnaire rétinienne correspond à la petite zone de la rétine dans laquelle la lumière provoque une modification notable de l'activité neuronale de cette cellule. La présence de connexions impliquant les cellules horizontales ainsi que l'étendue horizontale de leurs dendrites signifie qu'une cellule ganglionnaire est influencée par un amas de photorécepteurs situés à proximité. Les informations sont donc convergentes. De plus, le chemin emprunté par les influx nerveux à partir des photorécepteurs avoisinants diffère de la voie plus directe à partir des photorécepteurs du centre.

En général, les cellules ganglionnaires ON sont dépolarisées et activent des potentiels d'action lorsqu'une petite tache lumineuse tombe sur la partie centrale de leur champ récepteur.

Les **cellules de Müller** correspondent à la glie radiaire et au principal type de cellules gliales de la rétine. Ces cellules constituent les cellules de soutien de la rétine et sont essentielles au maintien de la fonction normale des neurones de la rétine. Les cellules de Müller possèdent un corps cellulaire qui se situe au milieu de la CNI, et étendent des procès vers la rétine externe qui se terminent au niveau de la membrane limitante externe. De plus, elles projettent des procès qui se terminent au niveau de la membrane limitante interne au niveau de la frontière entre la rétine et le vitré.

Les cellules de Müller possèdent d'importantes fonctions dans la collecte et le recyclage des acides aminés, du glutamate et du GABA, en siphonnant le potassium de l'espace extracellulaire, en maintenant la barrière hémato-rétinienne ainsi qu'en transportant les métabolites liés à l'énergie vitale entre le système vasculaire et les neurones. Plus récemment, des études ont démontré leurs fonctions actives dans la régulation du flux sanguin et de la fonction neuronale. En particulier, les cellules gliales sont actives d'un point de vue fonctionnel de par leur intercommunication par vagues de calcium intracellulaire. Des substances neuroactives (appelées gliotransmetteurs car elles sont libérées par la glie et non par les neurones) telles que le glutamate ou l'ATP peuvent être libérées en réponse aux changements relatifs au calcium intracellulaire et entraîner une altération de la fonction nerveuse (p. ex. l'hyperpolarisation des cellules ganglionnaires avoisinantes) ou des modifications relatives au calibre des vaisseaux sanguins.

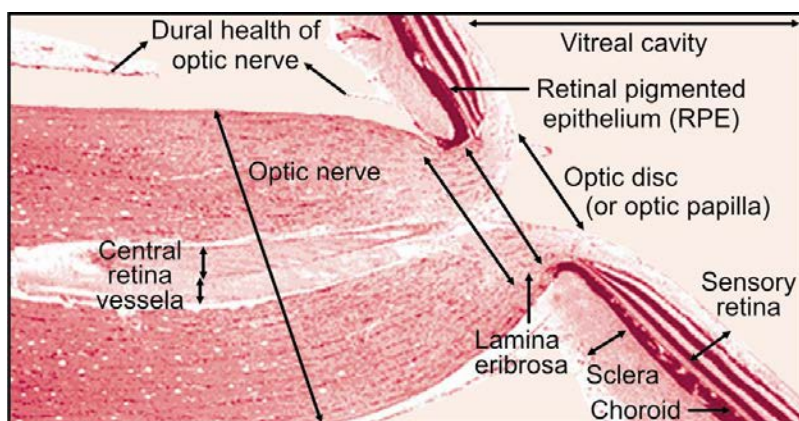
Les **astrocytes** correspondent au second type de cellules gliales qui résident à l'intérieur de la rétine. Elles sont présentes dans la couche de fibres nerveuses de la rétine et possèdent de long procès qui s'étendent à travers la rétine afin de communiquer avec les vaisseaux sanguins. Elles jouent un rôle important dans la régulation du développement du système vasculaire ainsi que dans le maintien de la barrière hémato-rétinienne.



**Figure 6.19** : Coupes verticales de la rétine montrant les cellules de Müller (vert) ou les astrocytes (rouge).

## LE NERF OPTIQUE

Le nerf optique (Figure 6.20) est composé des axones des cellules ganglionnaires de la rétine et ressemble à la substance blanche du cerveau. Environ 1,2 millions de fibres forment le nerf optique. 80 à 90 % d'entre elles sont de petit diamètre et appartiennent à la division des cellules ganglionnaires.



**Figure 6.20** : Coupe transversale du nerf optique montrant des fibres

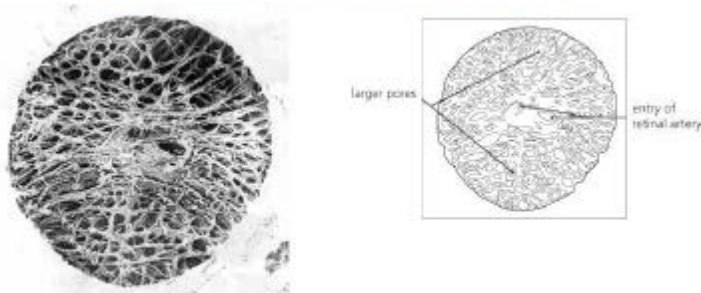
Entouré de la dure-mère, la méninge arachnoïdienne, l'espace sous-arachnoïdien et la gaine vasculaire de la pie-mère, le nerf optique est protégé dans l'orbite par de la graisse orbitaire et par les muscles droits. Le nerf sort de l'orbite par le canal optique.

La longueur totale du nerf est d'environ 5 cm. La portion qui s'étend à l'intérieur de l'orbite est appelée le nerf optique intra-orbitaire et mesure environ 25 mm.

La papille du nerf optique correspond à la portion qui s'étend à l'intérieur du canal scléral du globe oculaire. Elle est située à 15 degrés du côté nasal de la macula et légèrement au-dessus. La papille du nerf optique étant dépourvue de cône et de bâtonnet, elle constitue un point aveugle.

Les axones des cellules ganglionnaires qui constituent les fibres nerveuses sont démyélinisés jusqu'à ce qu'ils atteignent la *lame criblée de l'ethmoïde* au niveau de la papille du nerf optique. Dans la rétine interne, les fibres se croisent depuis les cellules ganglionnaires au nerf optique de manière arquée. Davantage de fibres périphériques pénètrent la papille du nerf optique périphérique. À l'intérieur du nerf, les fibres sont divisées en paquets par des cloisons fibreuses. La myélinisation post-laminaire multiplie le diamètre du nerf optique par plus de deux.

La *lame criblée de l'ethmoïde* (Figure 6.21) représente les fibres scléreuses qui traversent les régions où le nerf optique pénètre la partie postérieure du globe oculaire. Elle est composée de couches de lames poreuses contenant du tissu de collagène élastique et fibreux. Environ 200 à 400 pores sont présents dans chaque lame. La lame sert de support aux fibres nerveuses qui traversent le nerf optique intra-orbitaire.

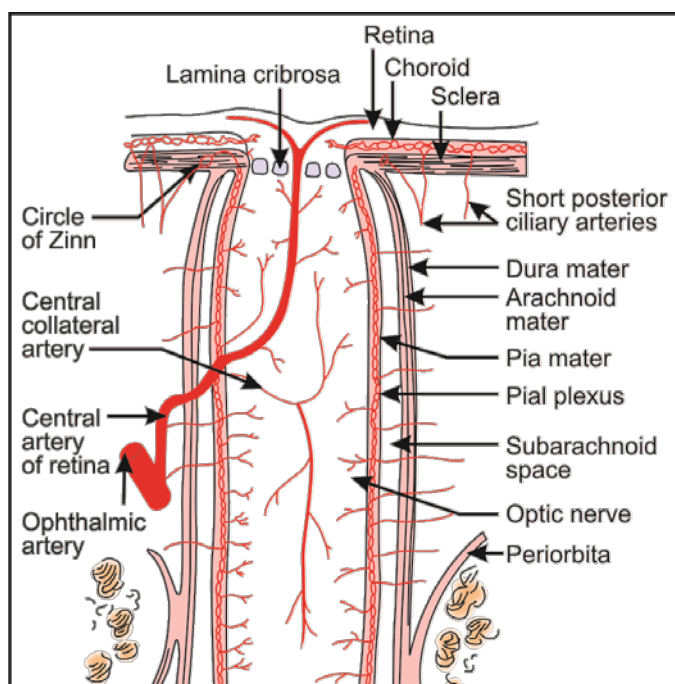


**Figure 6.21 :** La lame criblée de l'ethmoïde

Le nerf passe à l'arrière de l'orbite et entre dans le canal optique dans l'os sphénoïde avec l'artère ophtalmique. La portion du nerf située à l'intérieur du canal optique s'appelle la portion *intra-canaliculaire* et s'étend sur environ 5 mm. Il entre dans l'espace sous-arachnoïdien et progresse vers le chiasma optique en tant que portion *intracrânienne* du nerf optique.

## VASCULARISATION DE LA RÉTINE ET DU NERF OPTIQUE

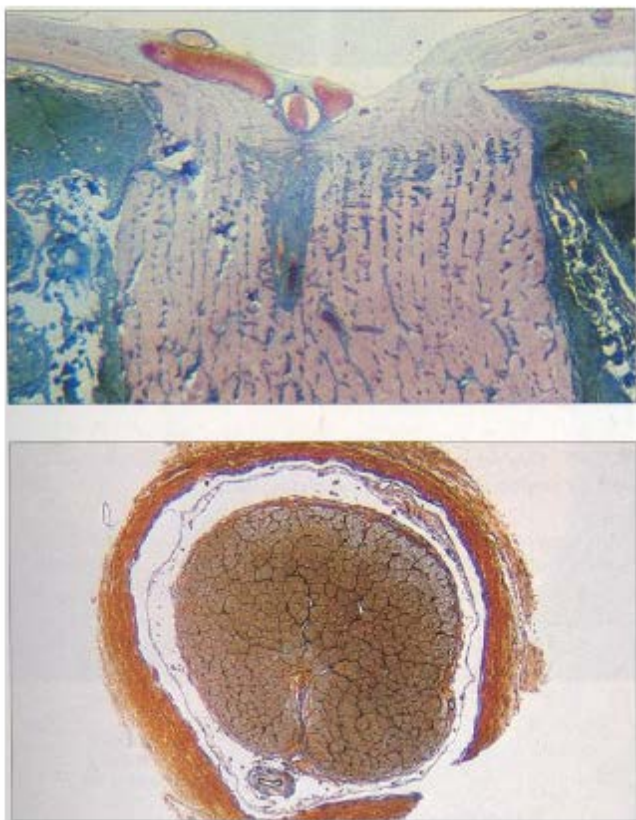
La portion intraoculaire (papille du NO) est irriguée par les artères ciliaires postérieures courtes par l'intermédiaire du cercle de Zinn (Figure 6.22). Le plexus de la pie-mère pénètre le nerf dans toute sa longueur et irrigue les fibres extérieures de l'intérieur du nerf.



**Figure 6.22 :** Vascularisation du nerf optique



L'artère (ACR) et la veine (VCR) centrales de la rétine pénètrent dans le nerf optique dans sa partie nasale inférieure à environ 12 mm en arrière du globe oculaire (Figure 6.23). L'artère pénètre en avant de la veine et toutes deux passent ensemble antérieurement jusqu'au centre du nerf, à travers la lame criblée de l'ethmoïde, puis pénètrent dans l'œil par le centre de la papille du nerf optique. Les branches collatérales de l'ACR irriguent les fibres centrales du nerf intra-orbitaire et les (petits) capillaires de la surface du disque superficiel.



**Figure 6.23 :** Coupe du nerf optique à 12 mm en arrière du globe oculaire ; artère rétinienne centrale à l'intérieur de l'espace sous-arachnoïdien se dirigeant vers le centre du nerf

## LECTURES COMPLÉMENTAIRES

Pour des descriptions complémentaires ou plus détaillées de différentes structures oculaires, l'étudiant peut trouver les livres suivants utiles.

- *Adler's Physiology of the Eye* . 11<sup>e</sup>éd. Levin. Nilsspm. VerHoeve, Wu, Kaufman, Alm Saunders 2011.
- *Clinical Anatomy of the Visual System*. 2<sup>e</sup> éd. Remington, Elsevier 2005.
- *Clinical Anatomy of the Eye* . Snell and Lemp, Blackwell 1998.

Sites web utiles

- <http://webvision.med.utah.edu/book/>