

LA VISION - COMPARAISON HOMMES / RAPACES

LES YEUX

Sensibles à la lumière, les yeux sont des organes qui permettent de percevoir et d'identifier les objets, leurs formes, leurs distances, leurs couleurs et mouvements, à partir de la lumière qu'ils réfléchissent ou émettent. Ils sont protégés par des paupières mobiles.

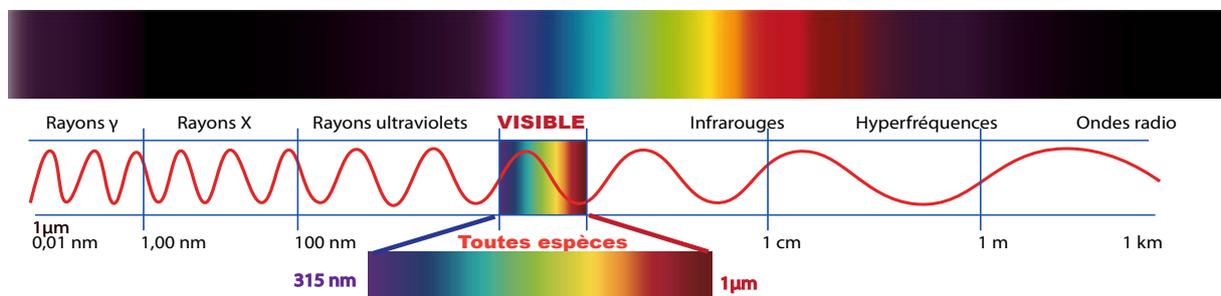


LA LUMIÈRE

La lumière est constituée de particules énergétiques – les photons – se propageant à une vitesse voisine de 300 000 kilomètres par seconde. Ils sont associés à une radiation électromagnétique dont la longueur d'onde caractérise leur niveau d'énergie. Plus ces **ondes** sont **courtes**, plus le photon est **énergétique** - rayons ultraviolets, rayons X, rayons γ (gamma), plus elles sont longues, plus l'énergie transportée est de faible intensité - infrarouges, hyperfréquences, ondes radio.

Dans ce faisceau très étendu de longueurs d'ondes, seuls les photons dont la longueur d'onde est comprise entre 300 et 800 nanomètres (environ) sont perçus par les espèces animales – c'est le spectre visible.

À l'intérieur de ce spectre, chaque espèce est sensible à une plage particulière qui lui est propre. L'œil humain, par exemple, ne perçoit que les longueurs d'ondes comprises entre 380 et 780 nanomètres (du violet au rouge sombre), « aveugle » en dehors de ces limites.



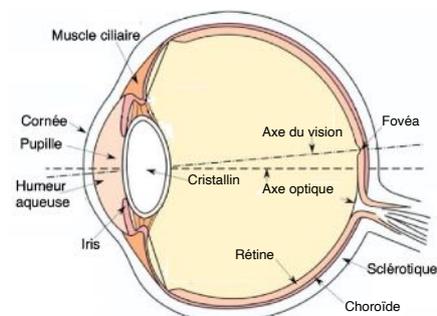
La mesure des petites longueurs d'ondes s'exprime en nanomètres : $1 \text{ nm} = 1/1000$ de micron, $1 \text{ micron } (\mu, \text{mu}) = 1/1000$ de mm, $1 \text{ millimètre (mm)} = 1/1000$ de mètre (m).

ANATOMIE SIMPLIFIÉE DE L'ŒIL

Chez les mammifères, dont l'espèce humaine, l'œil est sensiblement sphérique et comporte très schématiquement 2 parties.

La première optique - le cristallin - sorte de lentille dont la fonction est à la fois de concentrer la lumière reçue et d'en former une image au fond de l'œil.

La deuxième sensitive - la rétine - surface arrière interne de l'œil (en rose sur le schéma) sur laquelle se projette l'image formée par le cristallin. Elle est composée de cellules nerveuses spéciales – les photorécepteurs ou cellules visuelles – capables, par une série de réactions en cascade, de transformer l'énergie lumineuse en impulsions nerveuses transmises au cerveau par le nerf optique.



Définitions :

L'axe optique est une droite perpendiculaire au fond de l'œil passant par le centre de la lentille, de la pupille et de la cornée.

L'axe de vision est une droite, proche de l'axe optique, perpendiculaire à la fovéa et passant par le centre de la lentille. Il est distinct de l'axe optique avec lequel il fait un angle de l'ordre de 15° environ (variable selon l'espèce).

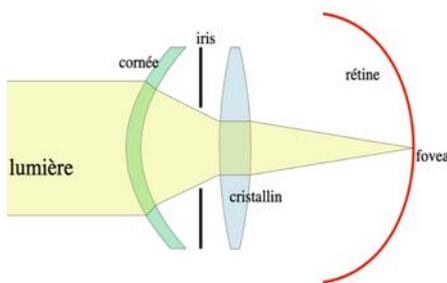
Chez les rapaces l'axe optique s'écarte du plan sagittal selon des angles voisins de 45°.

FONCTIONNEMENT COMMUN AUX DIFFÉRENTES ESPÈCES

Les yeux des vertébrés, bien que de formes et de capacités différentes, ont une structure et un mode de fonctionnement assez semblables.

La lumière qui atteint l'œil en traverse les différentes parties de l'avant vers l'arrière :

- Tout d'abord une mince membrane externe transparente – la **CORNÉE** - enveloppe sphérique convexe protectrice. Elle constitue une première lentille qui fait converger la lumière vers l'iris tout en filtrant les ondes courtes du spectre lumineux – UVB 280-315 nm.
Chez les rapaces la cornée est très « bombée ». Sa courbure peut être modulée, constituant un premier élément d'accommodation ;
- Ensuite une première chambre (dite externe) remplie d'un liquide biologique transparent – **L'HUMEUR AQUEUSE** ;
- Elle atteint alors le niveau de **L'IRIS**, sorte de diaphragme coloré dont la couleur varie d'une espèce à l'autre et qui, en se contractant plus ou moins, régule la quantité de lumière qui pénètre dans la chambre postérieure ;
- Elle passe par l'ouverture en son centre – la **PUPILLE** – (de couleurs et de formes variables selon l'espèce) qui change de diamètre en fonction des contractions de l'iris ;
- Elle traverse un organe lenticulaire - le **CRISTALLIN** - dont la fonction est de concentrer la lumière en se contractant plus ou moins pour ajuster l'image produite précisément sur le fond de l'œil. Comme la rétine, le cristallin filtre une partie des UV qui le traverse ;
- Elle atteint alors une chambre postérieure remplie d'un liquide gélatineux, **L'HUMEUR VITRÉE**, pour terminer sa course au fond de l'œil contre une surface sphérique concave sensible à la lumière, la **RÉTINE**.

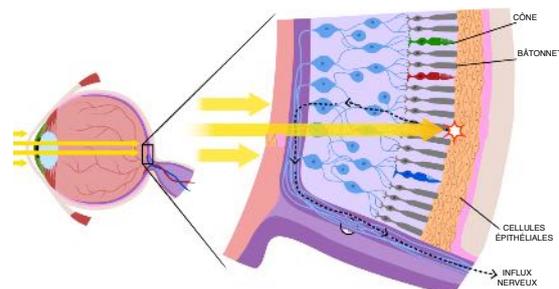


LA RÉTINE : ANATOMIE SIMPLIFIÉE

La rétine est un tissu constitué de plusieurs couches de neurones spécialisés dont la plus externe réagit à la lumière grâce aux **photorécepteurs** (ou cellules visuelles) qui la composent (équivalents aux pixels d'un appareil photographique).

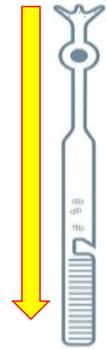
Ces neurones de forme allongée de l'intérieur vers l'extérieur de l'œil, sont de deux sortes :

- les **bâtonnets** dont l'extrémité externe a l'aspect d'un cylindre.
- les **cônes** qui se terminent en pointe.



Les photorécepteurs ne sont pas répartis de façon uniforme sur la surface de la rétine.

Les **bâtonnets** sont **absents** du centre occupé par la **fovéa** (dépression située dans l'axe visuel au centre d'une petite surface, la macula ou tache jaune chez l'humain). On les trouve en **périphérie**, région de la rétine sensible aux **faibles intensités lumineuses**. Cette partie de la rétine ne permet pas une acuité (capacité à distinguer les détails) très **performante**, mais la détection des mouvements et la vision périphérique en **nuances de gris**.



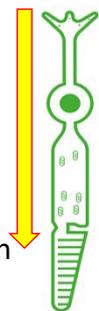
Chez l'homme les bâtonnets, au nombre 120 millions, sont 20 fois plus nombreux que les cônes et 100 fois plus sensibles à la lumière (*chez les rapaces nocturnes ils sont 30 fois plus nombreux et leur vision nocturne 100 fois supérieure à la nôtre*). Ils sont extrêmement efficaces en **VISION NOCTURNE**.

Dans les conditions de lumière intense les bâtonnets sont saturés et rendus inactifs, on pourrait dire qu'ils « disjonctent ».

Les **cônes**, au contraire des bâtonnets, sont quasi **absents** des régions **périphériques** de la rétine. En revanche, ils sont les **seules cellules visuelles** présentes en **grande densité dans la fovéa** – 150 000 à 180 000 cônes/mm² chez l'humain. Ils ne fonctionnent que pour les fortes intensités lumineuses. La fovéa possède ainsi une **acuité 100 fois supérieure** à celle des régions **périphériques**.

Ils permettent la **perception des couleurs**.

L'**espèce humaine** en dispose de **3 sortes** (encore que la fovéa de certaines femmes en comporte 4 ce qui leur permet de percevoir une variété considérable de couleurs).



LA RÉTINE : FONCTIONNEMENT SIMPLIFIÉ

En général :

La partie externe des photorécepteurs – **bâtonnets et cônes** – contient une protéine pigmentaire photosensible – **l'opsine** – réactive aux photons qu'elle est capable **d'absorber**. (*plus de 30 formes d'opsines ont été dénombrées parmi différentes espèces animales – le record est détenu par la crevette-mante qui en possède 36. Chaque forme d'opsine a un maximum d'absorption lumineuse à une longueur d'onde spécifique*). **L'énergie lumineuse** absorbée entraîne, pendant un très court laps de temps, *une transformation de la structure moléculaire de la protéine pigmentaire (phototransduction)*.

Cette **phototransduction** libère un électron qui modifie le potentiel électrique de la membrane cellulaire. Ce changement de potentiel électrique déclenche une **impulsion nerveuse** corrélée avec la quantité d'énergie absorbée par le pigment.

L'**influx nerveux** produit est acheminé par le **nerf optique** vers les zones spécialisées du **cerveau** qui interprètent l'information pour provoquer les diverses **sensations visuelles** en nuances de gris ou de couleurs.

Chez l'humain :

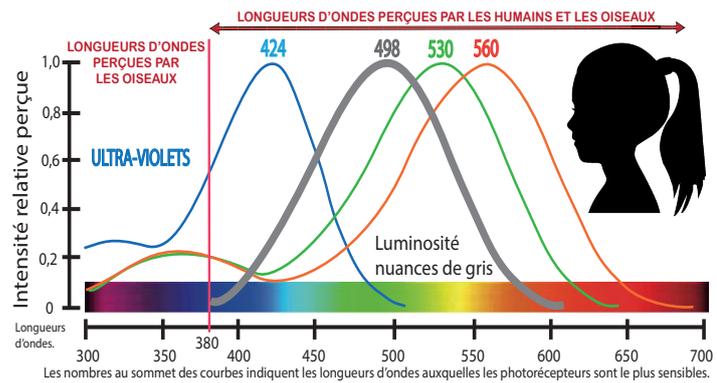
- La **rhodopsine**, présente dans les **BÂTONNETS**, a une capacité d'absorption maximale à la longueur d'onde de 498 nm. Elle est très sensible aux **faibles intensités lumineuses**. Sa stimulation aboutit à la vision en nuances de gris et la **VISION NOCTURNE**.

- Les **CÔNES** contiennent 3 variétés d'opsines différentes qui ne fonctionnent que pour les **fortes intensités lumineuses**. Ils produisent la **VISION DES COULEURS : bleu, vert, rouge**.

* L'opsine S absorbe le mieux la longueur d'onde de **424 nm** qui déclenche la sensation de **BLEU**.

* L'opsine M réagit le mieux à **530 nm** de longueur d'onde, produit le **VERT**.

* L'opsine L dont l'absorption maximale est à la longueur d'onde de **560 nm**, produit le **ROUGE**.



ET CHEZ LES RAPACES, COMMENT ÇA MARCHE ?



Points communs aux mammifères et aux oiseaux

Les yeux ont des structures et un mode de fonctionnement semblables : cornée, pupille, cristallin, rétine, fovéa, cellules visuelles en cônes et en bâtonnets, nerf optique, cerveau. Vus de face ils sont circulaires et protégés par deux paupières.

Les mécanismes optiques et biochimiques sont grosso modo les mêmes.

Différences avec les mammifères

Les **paupières** des rapaces ont des mouvements en partie différents :

- chez les **nocturnes** de **haut en bas** (comme chez l'homme),
- chez les **diurnes** de **bas en haut**.

À la différence des humains les **oiseaux ne clignent pas des yeux**, ils possèdent une **troisième paupière** fine et translucide - la **membrane nictitante** (photos de droite), absente chez l'homme. Sa fonction, en balayant l'œil de sa partie nasale vers sa partie externe, est de lubrifier la surface de la cornée avec un liquide lacrymal huileux.

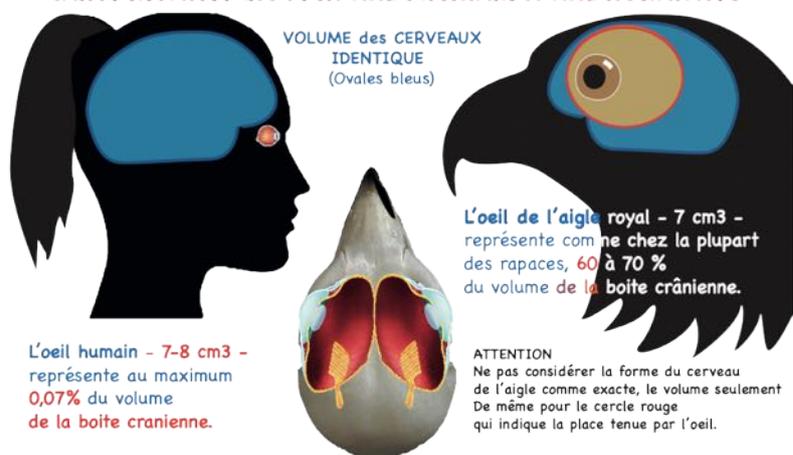


La taille des yeux

Les yeux des rapaces sont **ÉNORMES**.

Ils occupent entre 60 à 70% du volume de la boîte crânienne (par exemple, l'œil de l'aigle royal a le même volume que l'œil humain. Ramené à l'échelle humaine il aurait sensiblement la taille d'un gros pamplemousse).

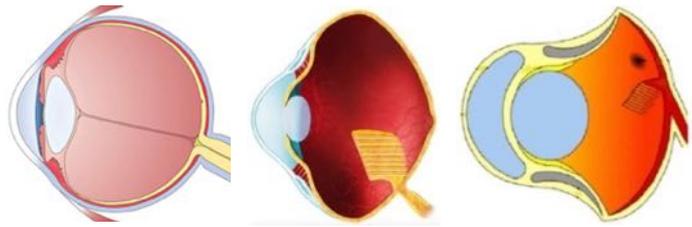
TAILLE RELATIVE des YEUX chez L'HUMAIN et chez les RAPACES



La forme des yeux

De face, la forme apparente des yeux est circulaire chez toutes les espèces. De profil, elle diffère sensiblement d'une espèce à l'autre :

- sphérique chez l'humain (1),
- aplatie chez les rapaces diurnes (2),
- tubulaire chez les nocturnes (3).



La motilité oculaire

La motilité oculaire des rapaces diurnes est contrariée par la place considérable que les yeux tiennent dans la boîte crânienne. Chez les rapaces diurnes elle se limite à des mouvements horizontaux.

Cette limitation mécanique est compensée par la grande mobilité de la tête - commune à tous les oiseaux (le nombre important de vertèbres cervicales - au moins 14 - rend possible cette grande amplitude de mouvement).

Au niveau évolutif, la mobilité oculaire perd ainsi de son utilité chez les oiseaux.

Les yeux des **rapaces diurnes** sont capables de **mouvements convergents** dans un plan horizontal.

Ceux des rapaces **nocturnes** de forme tubulaire et allongée (de plus bloqués dans une enveloppe osseuse - l'anneau sclérotique) présentent l'inconvénient de ne pas pouvoir pivoter – ils sont **fixes**. (hibou grand-duc ci-contre).

Mais cet allongement présente l'avantage d'allonger la focale entre la cornée très bombée et la rétine, ce qui permet la formation d'images de plus grandes tailles sur le fond de l'œil, lui-même moins concave et plus étendu (voir la comparaison de la forme des yeux plus haut).

Cette fixité du regard des nocturnes est compensée par la mobilité de la tête commune aux oiseaux.



Particularités :

Les rapaces nocturnes, principalement des hiboux, ont des mouvements de rotation de la tête particulièrement lents et réguliers. Ce comportement combiné au fait que la tête très « plumeuse » paraît énorme (le crâne est en réalité 3 à 4 fois plus petit que le volume apparent de « la tête ») fait croire que les rapaces nocturnes tourneraient la tête de façon extraordinaire, ce qui n'est pas le cas !

Chez les chouettes, quand un événement quelconque attire l'attention de l'oiseau, les mouvements de tête servant à ajuster la vue sont circulaires dans un plan vertical perpendiculaire à l'axe de vision.

Les rapaces diurnes, au contraire, tournent la tête par à-coups de points de fixation du regard à un autre point de fixation.

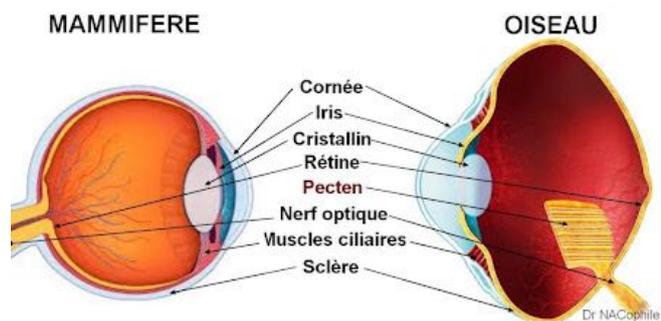
Chez les faucons, l'ajustement du regard consiste à exécuter des mouvements de tête d'arrière en avant dans un plan vertical confondu avec le plan saggital (bobbing en anglais).

Chez les rapaces forestiers (autour, épervier,...), les mouvements de tête sont horizontaux dans un plan perpendiculaire à l'axe de vision, la tête allant de droite à gauche, regard fixé sur « l'objectif ».

Toutes les espèces de rapaces ont la faculté de **conserver** la tête - donc les **yeux** - **parfaitement immobiles** quand ils fixent un point (comme si la tête était reliée physiquement à l'objet observé), quelques soient les mouvements du corps (branche qui bouge au vent, ou corps en mouvement quand le rapace pratique un vol sur place en « st esprit »).

L'irrigation sanguine de la rétine

- Chez les **mammifères**, l'irrigation sanguine est assurée par un **réseau** de capillaires qui parcourent la **surface de la rétine**.



- Chez les **oiseaux**, les **capillaires** sont quasiment **absents en surface**, de sorte que la **lumière** est **moins perturbée** avant qu'elle n'atteigne les photorécepteurs.

L'apport en oxygène est facilité par une structure issue du nerf optique, étalée en forme de peigne dans l'humeur vitrée – le **pecten oculi** (PO) ou peigne (absent chez les mammifères).

Cet organe présent chez tous les oiseaux (et certains reptiles) montre des formes et tailles variables.

Très **densément vascularisé** il « disperse » un réseau de capillaires très serrés **entre** la **choroïde** et les segments externes des **photorécepteurs** (cônes et bâtonnets). Ce **contact direct** avec la partie active des **cellules visuelles** assure une oxygénation **plus efficace**. Le PO permettrait aussi d'éliminer une grande part de la lumière diffuse et d'assurer également le contrôle du pH de l'humeur vitrée ?

Acuité visuelle : les fovéas

La **fovéa** est une **dépression** située dans **l'axe de vision au centre d'une petite surface**, la **macula** (la tache jaune chez l'homme).

Sa **profondeur varie** d'une espèce à l'autre et même avec l'âge au sein d'une même espèce - milan noir par exemple.

(Photo : fovéa nasale de faucon pèlerin).

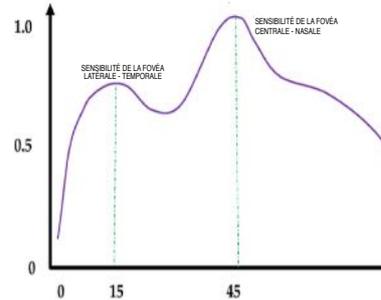
Elle possède une très **grande concentration de photorécepteurs** en forme de **cône** - **les seuls à être présents**. Ils assurent la vision des couleurs en **haute définition**, mais seulement dans des conditions de **forte luminosité**.



Les oiseaux, pour la plupart, ne disposent que d'une seule fovéa (comme les mammifères) à la différence des oiseaux chasseurs tels que les **rapaces diurnes** qui en ont **DEUX** :

- **1 fovéa centrale** ou **principale**, dite « **nasale** », de grande acuité – **450 000** photorécepteurs en cônes /mm², **3 fois plus que chez l'homme**.
- **1 fovéa latérale** ou **secondaire**, dite « **temporale** » dont l'acuité est environ 25% inférieure à celle de la fovéa nasale.

Dessin de droite, comparaison de l'acuité visuelle relative des deux fovéas.



Situation anatomique des fovéas

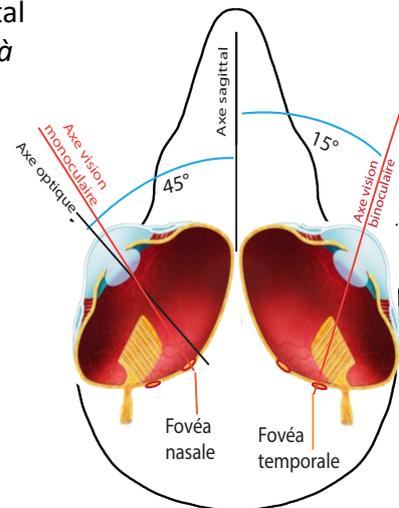
Chez les rapaces diurnes - œil au repos :

- **L'axe optique** est orienté en moyenne à 45° du plan sagittal (de grands écarts angulaires sont observés d'une espèce à l'autre).
- **L'axe de vision principal** aboutit au centre de la **fovéa nasale**, laquelle assure la **vision monoculaire** (d'un seul œil) en « **haute définition** ».

Cette fovéa centrale (la seule dont disposent les mammifères) sert à repérer et « analyser » les proies à grandes distances (plusieurs km pour le faucon pèlerin ou l'aigle royal). Dans ce cas la pupille est parfaitement centrée sur le cercle oculaire (*photo de faucon pèlerin ci-dessous*).



Pour observer au-dessus de lui, le rapace incline la tête sur le côté de façon à ce que l'image produite par le cristallin se forme précisément sur la fovéa centrale. (*photo de droite faucon pèlerin fixant un point loin dans le ciel en vision monoculaire*).



L'axe de **vision principal** est très **proche** de l'**axe optique**, Il s'en écarte seulement de **10 à 15°** (environ) en se rapprochant du plan sagittal.

Il reste donc éloigné d'une trentaine de degrés du plan sagittal, écart trop important pour assurer une vision binoculaire performante (particulièrement utile aux oiseaux chasseurs).

C'est pourquoi lorsqu'un rapace diurne **regarde vers l'avant** il fait pivoter ses yeux comme s'il **louchait légèrement**.

Ce mouvement de convergence oculaire permet à l'image de se former non plus sur la fovéa principale, mais sur la **fovéa temporale**. Dans ce cas la pupille est décentrée vers le bord interne de l'œil.

Les **axes de vision** sont alors parallèles ou convergents selon que l'objet soit loin ou proche.



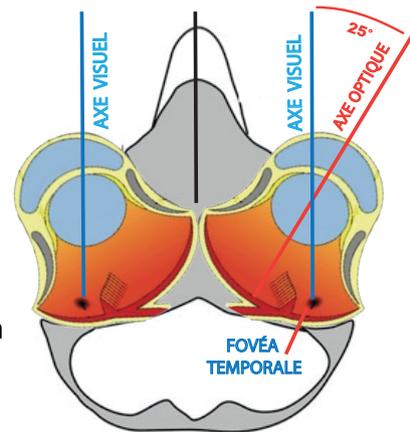
(Autour des palombes fixant l'objectif en vision binoculaire).

Chez les rapaces nocturnes la fovéa centrale est absente.

Les nocturnes disposent seulement d'une **fovéa secondaire, temporale.**

Cette particularité tient au fait que les yeux des rapaces nocturnes, sont bloqués dans la boîte crânienne selon des angles divergents de l'ordre de 25° par rapport à l'axe de la tête. Des axes de vision divergents ne permettent pas la vision en trois dimensions, avantage « technique » très utile à la chasse.

Au cours de l'évolution, la fovéa centrale a donc disparu au profit de la seule **fovéa temporale** ou alors la **fovéa principale a « migré » vers la partie temporale de l'oeil.** Cela permet au rapace nocturne de disposer d'une vision binoculaire (*axes de vision parallèles*), mais *totallement fixes pour la grande majorité des espèces.*



Il découle que les rapaces nocturnes (malgré leurs grandes capacités à modifier les courbures de la cornée et de la rétine) ne peuvent pas, en deçà d'une certaine distance, faire converger les axes optiques. Si l'objet est trop près l'image se forme en arrière de la rétine. **Les rapaces nocturnes sont hypermétropes.**

« Cette hypermetropie explique pourquoi, quand ils mangent, les rapaces nocturnes tatonnent avec le bec aidés en cela par des vibrisses de chaque côté. Ces sortes de « poils » permettent de localiser, en la touchant, la nourriture qu'ils ne voient pas distinctement ».

Chez toutes les espèces, la vision binoculaire permet l'estimation des reliefs et des distances, facilitant la poursuite des proies. Les rapaces diurnes utilisent l'une ou l'autre des fovéas en fonction des circonstances.

Exceptions :

- Les **vautours** ne disposent que **d'une seule fovéa, la fovéa centrale.**

Les yeux placés latéralement leur donnent un très large champ visuel dans toutes les directions. Cependant, bien qu'ils puissent orienter le regard vers l'avant pour « passer » en vision binoculaire, ce champ de vision reste très étroit (ce qui pourrait expliquer les nombreuses collisions de vautours en vol avec les pales d'éoliennes).

- Les rapaces **nocturnes** n'ont qu'une **fovéa temporale** (comme précisé plus haut) et **voient aussi bien de jour que de nuit.**

Diurnes ou nocturnes tous les rapaces peuvent fixer le soleil sans être éblouis.

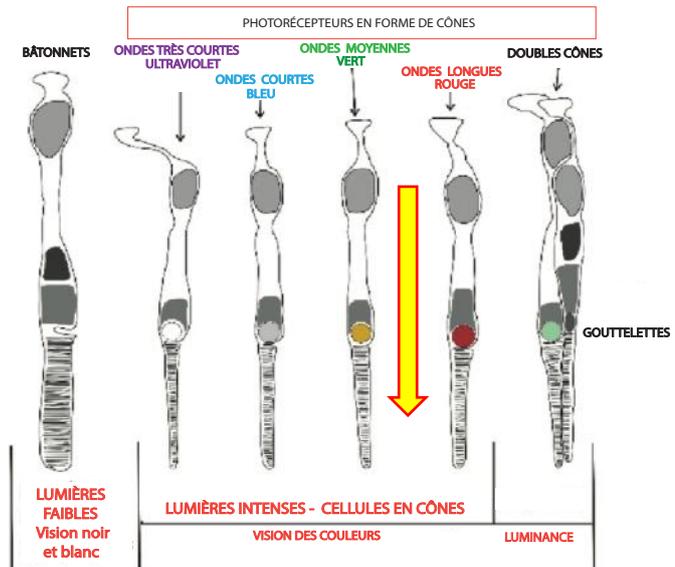
Les photorécepteurs – bâtonnets et cônes.

L'œil humain dispose de 4 types de photorécepteurs (comme dit plus haut).

Les cellules en forme de « bâtonnets » et en forme de cônes, **ROUGES**, **VERTS** et **BLEUS**.

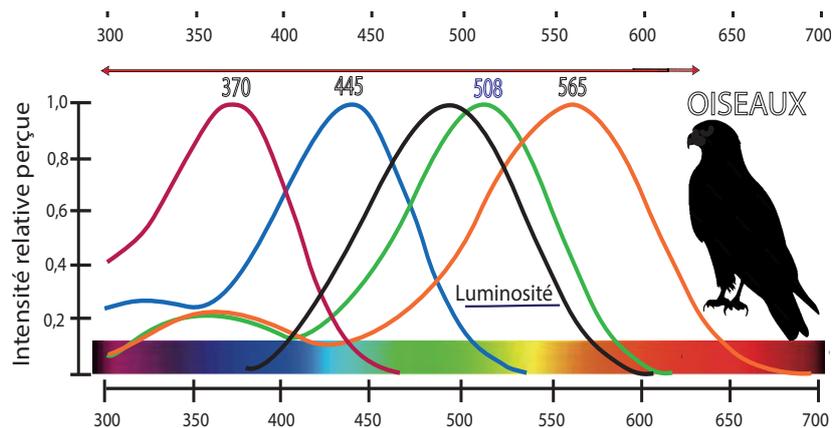
Quant à eux, les oiseaux en possèdent 6 :

- 4 ont des propriétés analogues à celles des humains (bâtonnets + cônes **ROUGES**, **VERTS** et **BLEUS**), mais les longueurs d'ondes absorbées sont décalées de quelques nanomètres par rapport à celles absorbées par les cônes de l'œil humain (tout en restant dans la même plage de couleurs). Le **BLEU** des humains, par exemple, correspond à la longueur d'onde de 424 nm, alors que celui des oiseaux à la longueur d'onde de 445 nm.
- Plus 2 cônes supplémentaires :



1 cône simple absorbant les longueurs d'onde correspondant à l'ultraviolet – 315-370 nm.
1 cône double sensible à la luminance.

Les nombreuses connexions nerveuses des doubles cônes avec les autres cellules visuelles adjacentes, laissent à penser qu'ils auraient une capacité de régulation dans le fonctionnement des autres cellules ? Ils seraient également sensibles au champ magnétique des grandes longueurs d'ondes ?



Les gouttelettes de graisse à la base des cônes.

L'anatomie des cônes – simples ou doubles – montre une particularité absente chez les mammifères : la présence de gouttelettes de graisse microscopiques (2-3 microns), de couleurs rouge, jaune, pâle, incolore ou transparentes à la base du cône. Ces gouttelettes de graisse sphériques jouent le rôle de mini lentilles. De plus, en fonction de leur couleur, elles modifient les caractéristiques et l'intensité de la lumière qui atteint la base des cônes.



- Les **gouttelettes incolores** ou de faible coloration, **concentrent** la lumière qui atteint le segment externe de la cellule (**partie conique**).
- Les **gouttelettes colorées**, par leur forte pigmentation, absorbent les parties de l'onde les moins chargées en énergie (celles qui s'éloignent des valeurs de « crête »).

Elles **réduisent** la quantité de **lumière** qui atteint la base des cônes.

Seuls les photons dont la longueur d'onde est proche du maximum d'absorption, suffisamment énergétiques, traversent et atteignent la partie externe des photorécepteurs, ce qui revient à « purifier » le rayon lumineux qui atteint le cône.

Les **gouttelettes d'huile**, claires et colorées, **accroissent** donc **l'acuité visuelle** (indépendamment de la densité des photorécepteurs qui y participent pour l'essentiel).

En éliminant les parties périphériques des ondes, elles « affinent » le faisceau lumineux qui atteint la base du cône.

En outre elles **accentuent** la **spécificité** et **l'intensité** des ondes qui les traversent. Les **couleurs** perçues sont donc mieux définies, plus « tranchées ».

Le « tapetum lucidum » (TL).

Le TL est une couche de cellules - composées de cristaux - situées derrière la rétine, entre celle-ci et la choroïde (*tapetum cellulosum choroïdien*).

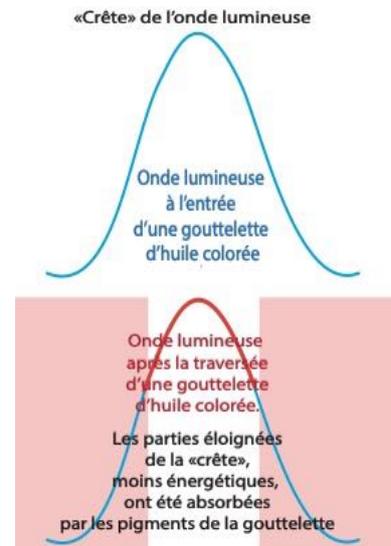
Sa capacité est de **réfléchir** la **lumière** qui n'a pas été entièrement absorbée en traversant la couche des cellules visuelles.

Les photons résiduels traversent ainsi une deuxième fois, et directement, les segments externes photosensibles, ce qui amplifie (jusqu'à près de 40%) la quantité d'énergie lumineuse absorbée par les cônes et les bâtonnets.

La présence du **tapetum lucidum** est connue de longue date chez les **mammifères nocturnes**, certains reptiles (crocodiliens) et chez les **rapaces nocturnes** dont les yeux brillent quand ils sont éclairés la nuit.

La présence du TL chez les rapaces diurnes semblerait avoir été ignorée ? Pourtant *l'observation de nombreux rapaces diurnes en chasse dans des conditions de faible luminosité - tard le soir voire même la nuit - plaiderait en faveur de l'existence d'une telle structure.*

Une vidéo récente (décembre 2024) d'un couple de faucons pèlerins paradant dans l'aire artificielle installée dans un bâtiment en Suisse, lève l'ambiguïté en montrant à l'évidence que le « tapetum lucidum » est présent, au moins chez le faucon pèlerin (ci-contre), pourquoi pas chez d'autres espèces de rapaces diurnes ?



(Photo de hibou grand-duc)



POUR RÉSUMER

On retiendra donc que les rapaces – en particulier les rapaces diurnes - possèdent plusieurs particularités anatomiques et fonctionnelles remarquables :

- des yeux de grande taille par rapport aux dimensions de la tête (60 à 70%),
- une grande capacité à moduler la courbure de la cornée et surtout du cristallin,
- une vascularisation réduite à la surface de la rétine,
- la présence d'un organe spécifique en forme de peigne issu du nerf optique,
- la présence de deux fovéas par œil chez la plupart des espèces diurnes,
- un nombre considérable de cellules photoréceptrices,
- l'existence de deux types de cônes originaux,
- la présence à la base des cônes de sphères graisseuses renforçant la capacité visuelle,
- un champ de perception des couleurs plus étendu que le nôtre,
- un champ visuel étendu.

Ceci permet d'affirmer que les rapaces diurnes dont l'acuité visuelle est vraisemblablement 6 à 8 fois supérieure à la nôtre, ont bénéficié au cours de l'évolution d'adaptations particulièrement favorables à la prédation d'autres animaux.

FONDS DE SAUVEGARDE DE LA FAUNE ET DE LA FLORE JURASSIENNES « GROUPE PÈLERIN JURA »



Bibliographie (en cours)

<https://www.veterinary-practice.com/article/importance-of-eyes-in-raptors>
<https://www.imaios.com/fr/vet-anatomy/structures-anatomiques/tapetum-lucidum-11107444604>
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3061512/>
<https://asknature.org/fr/strategy/eye-structure-enhances-night-vision/>
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6235456/#:~:text=Many%20species%20of%20raptors%20have,single%20cones%20mediating%20color%20vision.>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1084952119301004>
<https://oxfordre.com/neuroscience/display/10.1093/acrefore/9780190264086.001.0001/acrefore-9780190264086-e-232?ref=PDF>
https://en.wikipedia.org/wiki/Bird_vision
https://cob.silverchair-cdn.com/cob/content_public/journal/jeb/212/10/10.1242_jeb.024950/3/1568.pdf?Expires=1742640214&Signature=d-hJ5UTb0EpDo2TMeLx7GLAI4uLvCYczt0siHmcUN2liNE7OkupFVNd7TDapYRabYIGxzO-Yfok2L7bXC6htK~thQ4r9io3~h48QQsEYO6LTvOoiQ~d96eVU58jBb7Md28fzYJcEHJWbLPf6nfGAv2rECeiu14uh4SLwpGJwvIF93ZR01dJLefNKns6R0tsy8Svwp3Joo-fdabDlwcN8~SBNHW4Vw8tsNXM0vEaiWTVoivvHsURDKlgrXvfgv3hbmMXgVc~kO7tgOFdRSK9SKfKnFofFA8-9f9jT73Yj7729JpQDMcnJjQBF4YOjOxofdQMZU5mqNHLKpFh3WSMNA_&Key-Pair-Id=APKAIE5G5CRDK6RD3PGA