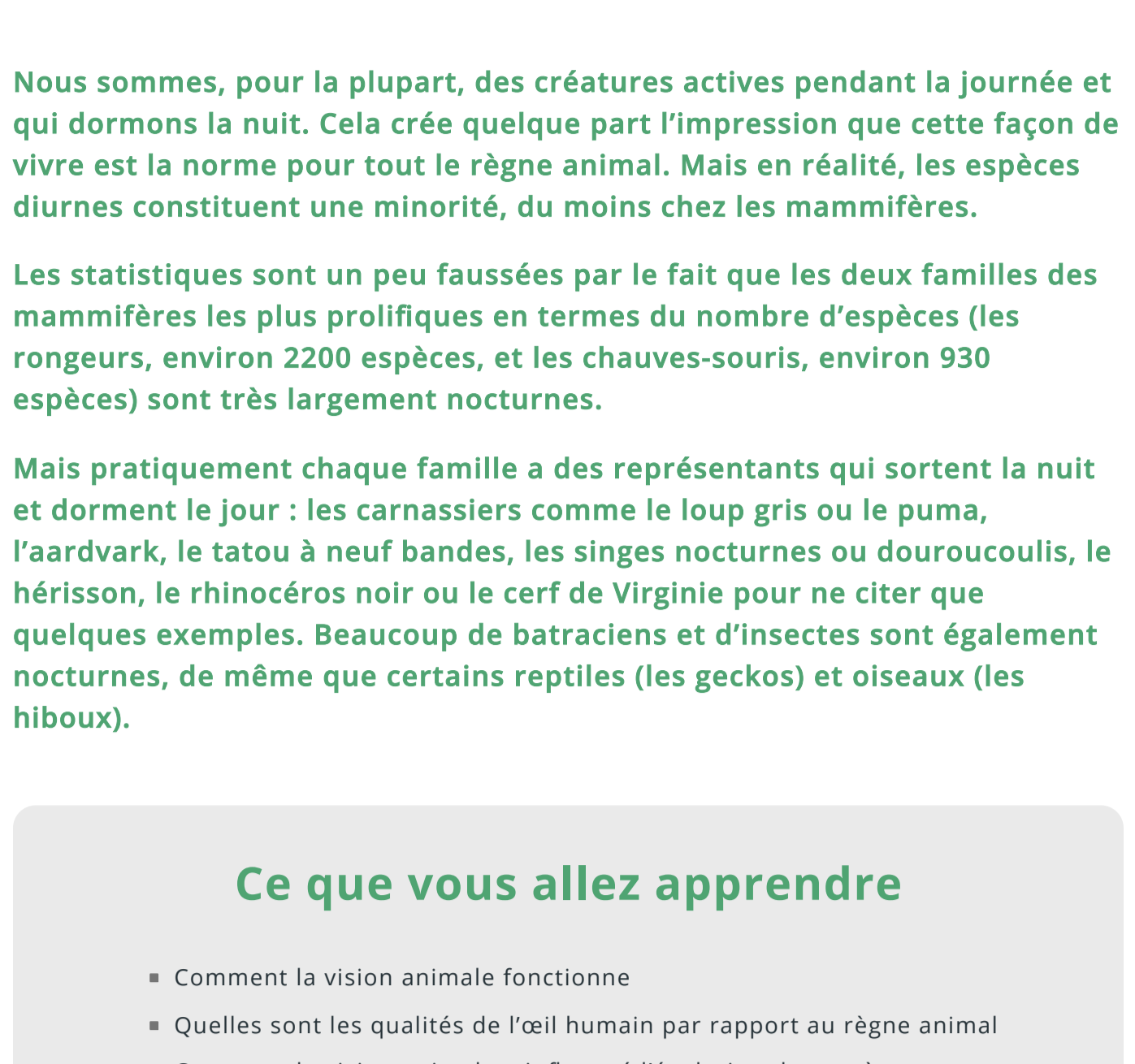


Vision animale : le côté obscur de la force



David Hicks
Directeur de recherche — INSERM



Oeil de poulet

Expertise et recherche 14/11/2018 20 minutes

Nous sommes, pour la plupart, des créatures actives pendant la journée et qui dormons la nuit. Cela crée quelque part l'impression que cette façon de vivre est la norme pour tout le règne animal. Mais en réalité, les espèces diurnes constituent une minorité, du moins chez les mammifères.

Les statistiques sont un peu faussées par le fait que les deux familles des mammifères les plus prolifiques en termes du nombre d'espèces (les rongeurs, environ 2200 espèces, et les chauves-souris, environ 930 espèces) sont très largement nocturnes.

Mais pratiquement chaque famille a des représentants qui sortent la nuit et l'ardvark, le tatou à neuf bandes, les singes nocturnes ou douroucoulis, le hérisson, le rhinocéros noir ou le cerf de Virginie pour ne citer que quelques exemples. Beaucoup de batraciens et d'insectes sont également nocturnes, de même que certains reptiles (les gekkos) et oiseaux (les hiboux).

Ce que vous allez apprendre

- Comment la vision animale fonctionne
- Quelles sont les qualités de l'œil humain par rapport au règne animal
- Comment la vision animale a influencé l'évolution des espèces

Maxime Hebelamou
Le regard du lion ne fait peur qu'aux animaux car l'homme a une raison.

CLICK TO TWEET

La force obscure... voir la nuit comme en plein jour

Notre vue est très performante quand il fait suffisamment clair : le monde est fait de myriades couleurs, de formes diverses, de mouvements. Mais nous avons l'impression de rien voir la nuit. Et pourtant...

Il est de nos jours de plus en plus rare d'être confronté à une vraie nuit noire, sans éblouissement par des éclairages artificiels ou de la pollution atmosphérique. Or, dans de telles conditions, on continue de voir. Non pas des couleurs, mais des formes grises approximatives, des mouvements.

Les espèces nocturnes voient beaucoup mieux que nous. L'intensité lumineuse à laquelle les humains sont encore capables de distinguer de la lumière est autour d'un lux. Or, les chats sont censés pouvoir voir à 0.125 lux (8 fois plus faible), les tarsiers à 0.001 lux (1000 fois moins).

Mais comment font ces autres espèces pour mieux voir ? Et pourquoi nous, les humains, avons une vision de nuit relativement pauvre (et en réalité une vision de jour pas si performante non plus) ? La réponse risque de décapser...

Comment améliorer la vision ?

Pour répondre à la première question, les yeux des animaux nocturnes ont évolué en adaptations spécifiques à ce type de vision, appelées « scotopique » (par opposition à la vision de plein jour, dites « photopique »).

Dans ces conditions de très faible luminosité, le défi numéro un est de capter autant de lumière que possible.

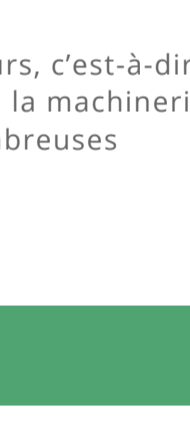
Une façon très simple pour le faire, est d'avoir de gros yeux, comme chez beaucoup de petits primates (les tarsiers, les galagos, les lémuriens, etc.).

Comme la radio télescope d'Arecibo, Puerto Rico, plus vous êtes grand, plus vous captez d'ondes.

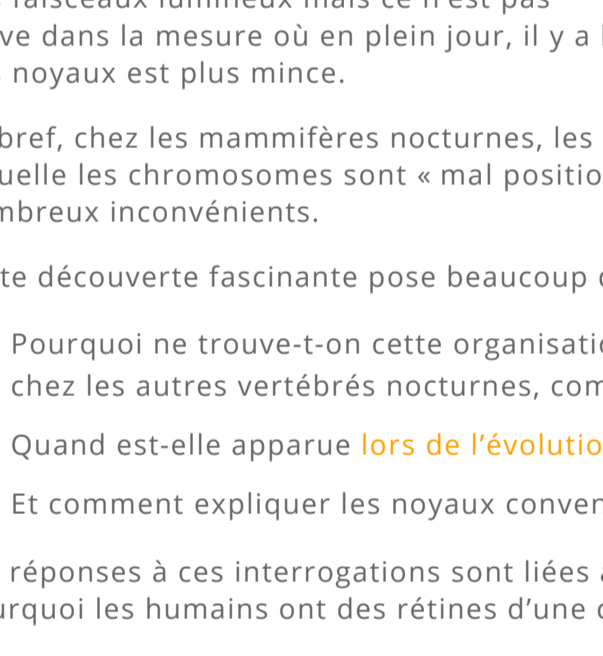
Il est également évident que plus vous avez de cellules photoréceptrices (en l'occurrence les « bâtonnets », des cellules hautement spécialisées pour capter et convertir l'énergie photonique en signaux électriques), plus vous pouvez récupérer les photons éparpillés.

Pourquoi la vision humaine est-elle moins performante ?

Les rétines des rats et des souris, rongeurs nocturnes par excellence, sont composées de 11 à 15 rangées de bâtonnets contre 5 à 6 rangées pour nous. Ce qui fait que la densité cellulaire par unité de surface est nettement supérieure.



Coups histologiques de rétine de souris (gauche) et rétine humaine (droite) montrant les différentes couches cellulaires.



Coups histologiques de rétine de souris (gauche) et rétine humaine (droite)

1. La couche des noyaux des photorécepteurs composée d'environ 97% en bâtonnets chez la souris et 95% en bâtonnets chez l'homme. Notez que la rétine de souris contient environ 11 rangées de noyaux, la rétine humaine seulement 5. Notez aussi comment les noyaux, chez la souris, sont plus denses et foncés que ceux de la rétine humaine.

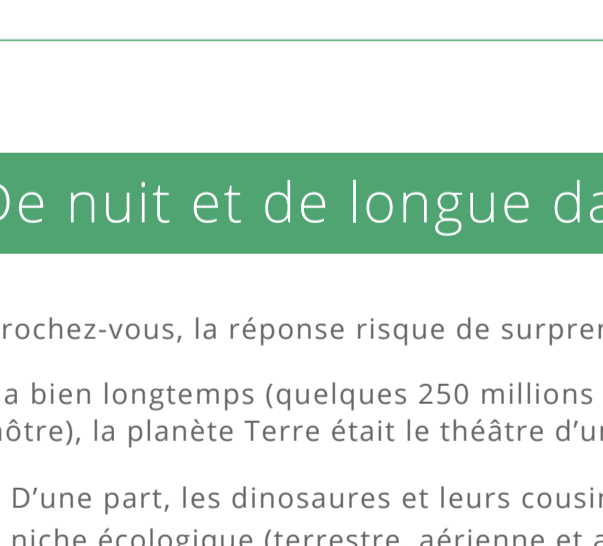
2. La couche nucléaire interne, les noyaux des cellules nerveuses intermédiaires.
3. La couche des cellules ganglionnaires, et cellules nerveuses qui reçoivent les messages venant des cellules au-dessus et qui les envoient le long du nerf optique vers le cerveau. Les flèches jaunes traversant les deux rétines montrent la direction prise par la lumière à l'intérieur de l'œil. Notez comment elle doit traverser toutes les couches cellulaires avant de tomber sur les segments externes des photorécepteurs, la partie sensible à la lumière.

Certains animaux comme les chats peuvent dilater leurs pupilles d'une façon bien plus importante que les humains, laissant entrer encore plus de lumière.

Les chats possèdent également une couche réfléchissante placée derrière la rétine, appelée le « tapétum ». Cette couche agit comme un miroir renvoyant la lumière à travers la rétine sensorielle une deuxième fois, augmentant ainsi les chances de détecter les photons.

Le tapétum

Les yeux brillants des chats s'expliquent par la présence, derrière la rétine, d'une couche réfléchissante appelée tapétum qui renvoie la lumière comme un miroir.



Yeux de chats en pleine nuit © Duana

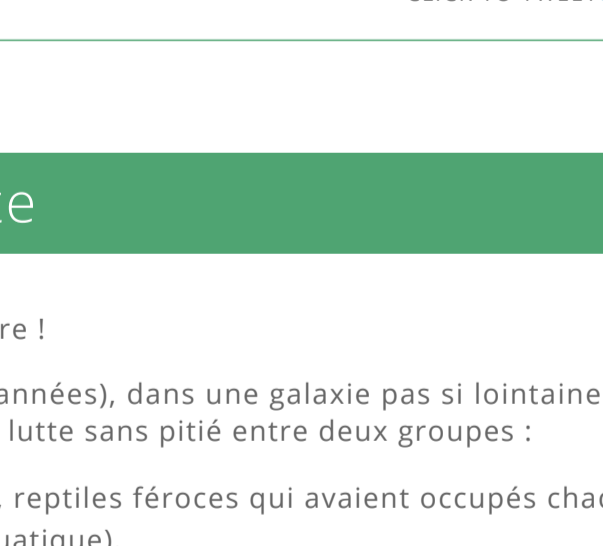


Schéma coupe latérale d'un œil

De fait la lumière traverse la rétine deux fois, augmentant les chances d'être captée par les photorécepteurs.

Beaucoup de rongeurs nocturnes ont des cristallins relativement gros, remplissant presque entièrement le globe oculaire. Cette configuration aide aussi à capter et focaliser les quelques rayons lumineux.

Un programme nucléaire très original...

Mais peut-être que l'adaptation la plus surprenante ne fut rapportée que récemment, dans un article apparu dans la revue scientifique Cell, en 2009.

Comme souvent en ce qui concerne les découvertes majeures en science, les chercheurs furent intéressés par un tout autre sujet, à savoir l'organisation spatiale du noyau cellulaire.

Presque toute cellule possède un noyau en son centre organique où se trouvent les chromosomes constitués d'ADN et des protéines associées.

Dans les cellules différenciées matures, partout à peu près le même aspect que soit l'organe en question, les noyaux présentent toujours à peu près la coupe histologique : un centre clair et une périphérie plus foncée. Ces deux aspects correspondent aux deux états de l'ADN, le plus clair appelé « euchromatine » (qui équivaut à l'ADN débobiné où les gènes sont activement transcrits) et le plus foncé appelé « hétérochromatine » (ADN fermé sur lui-même, pour la plupart inactifs).

Cette étude, réalisée au laboratoire de Dr. Boris Joffe à Munich et dont le premier auteur est le Dr. Irina Soloviev (Ludwig-Maximilians-University), montre que la seule exception à cette règle universelle est le noyau d'un bâtonnet.

En observant des coupes histologiques des rétines de souris, elle a remarqué que les noyaux des bâtonnets ont une structure inversée par rapport à toute autre cellule, foncé au centre et clair autour, correspondant à l'euchromatine vers l'extérieur alors que l'hétérochromatine est compact au milieu.



Structure des noyaux des bâtonnets chez les mammifères diurnes et nocturnes.



Structure des noyaux des bâtonnets chez les mammifères diurnes et nocturnes



Noyaux Normal Inversé

- En haut à gauche, trois différents types de noyaux de cellules de souris : bâtonnet (Bât), cellule ganglionnaire de la rétine (Gang) et fibroblaste. Alors que les deux dernières ont le centre composé d'euchromatine (colorée en vert) et la périphérie formée d'hétérochromatine (rouge), c'est l'inverse qui se passe dans le bâtonnet, périphérie verte et centre bleu et rouge (les deux couleurs représentent différentes formes d'hétéro-chromatine).
- En bas à gauche, cette inversion n'a eu que chez les espèces nocturnes, ici le rat et le cerf, alors que l'organisation est conventionnelle chez des espèces diurnes tels que l'écureuil ou le cochon.
- A droite, simulation par ordinateur de la transmission de la lumière soit par les noyaux conventionnels, soit inversés.

Il est évident qu'un faisceau lumineux est moins éparpillé par les noyaux inversés (qu'ils soient alignés en colonne comme en haut ou non-alignés, comme en bas) que les noyaux conventionnels.

L'article décrit en détail cette architecture unique, dont je ne retiendrai que deux points essentiels :

- D'abord, après avoir regardé les yeux de près de 40 espèces de mammifères, cette répartition se trouve seulement chez les espèces nocturnes (la souris, le cerf, le furet ou le lémur).
- À l'opposé, les noyaux des bâtonnets des mammifères diurnes (le cochon, le cheval, l'écureuil ou l'homme) ont une organisation typique (euchromatine au centre, hétérochromatine à la périphérie).

Des yeux pleins de petites lentilles

En imaginant ce qui pourrait bien être à l'origine d'une telle différence, les chercheurs ont modélisé par ordinateur la transmission lumineuse à travers une rétine diurne (noyaux conventionnels) et une rétine nocturne (noyaux inversés).

Il faut savoir en outre que pour passer sur la partie photosensible des photorécepteurs, c'est-à-dire les segments externes ou tombes sur des cellules qui contiennent toute la machinerie moléculaire pour détecter la lumière, la lumière doit traverser toutes les nombreuses couches cellulaires.

Une histoire de rétine

Les rétines des espèces nocturnes font face à un paradoxe, parce qu'en multipliant le nombre de photorécepteurs afin de capter plus de lumière, elles sont aussi sujettes à plus de gêne due au passage de la lumière.

Or, dans les rétines nocturnes, les noyaux inversés agissent comme des microlentilles focalisant la lumière vers la partie photosensible et réduisant ainsi la perte du signal !

Dans les rétines diurnes, les noyaux conventionnels gênent un peu le passage des faisceaux lumineux mais ce n'est pas grave dans la mesure où en plein jour, il y a largement suffisamment de lumière et la couche des noyaux est plus mince.

Photo-micro d'une rétine © Domaine public

En bref, chez les mammifères nocturnes, les avantages optiques procurés par une rétine dans laquelle les chromosomes sont « mal positionnés » par rapport à la normale dépassent les nombreux inconvénients.

Cette découverte fascinante pose beaucoup de questions :

- Pourquoi ne trouve-t-on cette organisation que chez les mammifères nocturnes et pas chez les autres vertébrés nocturnes, comme les hiboux, les gekkos ou les grenouilles ?
- Quand est-elle apparue lors de l'évolution ?
- Et comment expliquer les noyaux conventionnels chez les mammifères diurnes ?

Les réponses à ces interrogations sont liées à la question posée en début de ce texte : pourquoi les humains ont des rétines d'une certaine manière mal faites pour bien voir ?

Les mammifères, un monde terne pour la plupart

De quel point de vue les rétines humaines sont-elles mal faites ?

Pour des créatures soi-disant diurnes (mettons de côté pour l'instant les boîtes de nuit), nos rétines ressemblent pour beaucoup aux rétines nocturnes dans la mesure où le nombre de bâtonnets est 20 fois supérieur au nombre de cônes (photorécepteurs essentiels pour la vision de jour, chromatique et de haute acuité).

Or d'autres espèces diurnes, le vulgaire poulet par exemple, possèdent des rétines constituées à 80-90% de cônes, beaucoup plus logique.

Ainsi, hormis l'homme et une poignée de singes qui sont « trichromates » (trois types de cônes, qui détectent préférentiellement la lumière bleue, verte et rouge), tous les autres mammifères sont dichromates (seulement deux types, les cônes bleus et verts) voire même monochromates (uniquement les cônes verts).

Autrement dit, la perception colorée de la grande majorité des mammifères est assez terne. C'est le cas des chats, des chiens ou encore des taureaux, qui ne voient pas un toréador multicolor muni d'une cape écarlate mais simplement un bonhomme un peu fade qui agite un bout de chiffon sombre (le splendide toréador n'est trichromatique que pour les spectateurs).

Cette perception est probablement en noir et blanc pour les espèces monochromates (raton laveur, phoque, etc.).

Et un monde multicolore pour certains

En revanche les oiseaux, les tortues, les poissons sont tous tétrachromates (quatre types de cônes), voir pentachromates (cinq types). Ils vivent dans un monde beaucoup plus coloré que nous.

Par ailleurs, les rapaces ont une acuité visuelle 50 fois supérieure à la nôtre, capable de repérer une souris qui risque sa peau 50 mètres plus bas.

Et il y a encore d'autres lacunes. Les mammifères (y compris les humains) détectent la lumière seulement par le biais des yeux. Or, les oiseaux, les batraciens et les poissons possèdent des photorécepteurs « extra-rétiniens », dans la glande pinéale ou ailleurs dans le cerveau. Leurs os sont suffisamment délicats pour laisser filtrer la lumière, comme une feuille de papier, alors que nous avons des crânes épais.

Les yeux du harfang des neiges © Domaine public

Enfin, nous ne possédons qu'un seul gène de « mélanopsine » (un pigment visuel révolutionnaire, qui fera l'objet d'un autre article), alors que tous les autres groupes de vertébrés en ont au moins deux.

Alors, pourquoi sommes-nous si médiocres, visuellement parlant ?

Wajdi Mouawad
Les animaux ne regardent qu'avec leurs yeux, nous, les humains, nous regardons avec notre folie.

CLICK TO TWEET

De nuit et de longue date

Accrochez-vous, la réponse risque de surprendre !

Il y a bien longtemps (quelques 250 millions d'années), dans une galaxie pas si lointaine (oui, la nôtre), la planète Terre était le théâtre d'une lutte sans pitié entre deux groupes :

- D'une part, les dinosaures et leurs cousins, reptiles féroces qui avaient occupés chaque niche écologique (terrestre, aérienne et aquatique).
- D'autre part, les premiers ancêtres des mammifères, de la taille d'une musaraigne, qui essayaient désespérément de se faire une petite place au soleil.

Evolution parallèle des mammifères et des reptiles. L'apparition des mammifères (colonne bleue) date d'environ 230 million d'années, les dinosaures (et les oiseaux) (colonne rouge) légèrement avant.

L'hypothèse actuelle la plus communément acceptée (basée sur le « record fossile », la génétique et la morphologie comparative) suggère qu'au lieu de chercher obstinément une place au soleil (et se faire manger dans le processus), nos ancêtres ont choisi l'option totalement opposée, en adoptant un mode de vie nocturne.

Dans le coin gauche, musaraigne... dans le coin droit, tyrannosaure

En effet, tyrannosaure et musaraigne ne boivent pas dans la même catégorie et pour éviter l'anéantissement, les mammifères primitifs ont trouvé une autre astuce.

Ayant le sang chaud, les mammifères primitifs furent moins dépendants au soleil pour se réchauffer, alors que les dinosaures avaient besoin de la chaleur extérieure pour rester en activité.

On estime donc que les dinosaures et autres reptiles étaient contraints à chasser seulement le jour, moment où nos ancêtres s'endormaient paisiblement dans leur terrier. La nuit venue, ils sortaient pour rôder dans une sécurité relative.

Tout ceci est bien entendu hypothétique et certaines zones d'ombre persistent. Mais cette hypothèse est basée sur du concret.

Par exemple, le diamètre important des orbites des crânes fossiles laisse à penser qu'ils avaient des habitudes nocturnes. Les mammifères anciens étaient tous devenus nocturnes et ceci pendant quelque 150 millions d'années, soit la durée du règne des dinosaures avant leur disparition, il y a 65 millions d'années.

Reconstruction et impression artistique de Haramiyavia, dont les fragments de crânes fossilisés permettent de montrer que les yeux furent relativement grands, en rapport avec une vie nocturne. © APRIL HEADER

Utilise le ou perd le...

Et pendant tout ce temps, à force de ne pas être très sollicités, les mammifères anciens ont perdu petit à petit de nombreux cônes, les différents types spectraux et le deuxième gène de la mélanopsine.

En parallèle, ils ont développé un nombre très important de bâtonnets, la taille de leurs yeux a augmenté et les noyaux des bâtonnets se sont inversés.

Suite à la disparition des dinosaures, la lignée des mammifères en a profité pour occuper les différentes niches dorénavant inoccupées et certaines espèces ont commencé à revenir vers un comportement diurne (nos ancêtres primates par exemple). Mais de nos jours la majorité des espèces reste toujours nocturne.

Ce qui est intéressant, c'est que les espèces qui sont devenues ensuite diurnes l'ont fait de façon indépendante, c'est-à-dire qu'elles ont évolué vers des adaptations diurnes (un plus grand nombre de cônes, moins de bâtonnets et noyaux conventionnels) contre un fond génétique nocturne, séparément les uns des autres.

Pour conclure

Nos yeux sont donc à mi-chemin entre une forme ancestrale nocturne (toujours beaucoup de bâtonnets dans l'ensemble) et une forme nouvelle et diurne (nombreux cônes au centre et moins de rangées de bâtonnets).

Peut-être que, d'ici à 100 millions d'années (et si nous survivons au réchauffement climatique), l'évolution aura suffisamment fait son travail pour que nous puissions avoir des yeux aussi performants en plein jour que ceux des poules...

Les spécialistes du sujet sont sur vos réseaux sociaux préférés

David Hicks
Directeur de recherche — INSERM

Zoologiste dans l'âme depuis tout petit (il a eu 40 espèces de reptiles et batraciens chez ses parents — sa mère fut très indulgente), au fil des études supérieures en Angleterre, au Canada, aux USA et en France, il s'intéresse dans les neurosciences et la vision.

Directeur de recherche à l'INSERM, il s'intéresse aux processus moléculaires et physiologiques gouvernant la détection de la lumière, ainsi qu'aux problèmes pathologiques de la vue.