

Les mécanismes nerveux de la vision

Activités pratiques

1

La rétine, une mosaïque de photorécepteurs (p. 32-33)

Connaissances	Capacités et attitudes
La vision du monde dépend des propriétés des photorécepteurs de la rétine.	<ul style="list-style-type: none"> – Déterminer les rôles des photorécepteurs et de l'organisation anatomique des voies visuelles dans la perception d'une image. – Relier certaines caractéristiques de la vision à certaines propriétés et à la répartition des photorécepteurs de la rétine.

1. Les intentions pédagogiques

Après avoir découvert l'organisation de l'œil sur le plan de l'optique, on cherche au cours de cette activité à déterminer le rôle de la rétine et à relier son organisation aux propriétés de la vision.

Le **document 1** permet de découvrir les cellules photoréceptrices de la rétine, des cônes et des bâtonnets, vus à plat ou en coupe. Il est ainsi possible de se rendre visuellement compte de la densité relative de ces deux types de photorécepteurs. Les propriétés des photorécepteurs indiquées sous les photographies seront reliées aux informations des documents 2 et 3 afin d'établir quelques propriétés de la vision.

L'étude de l'organisation de la rétine en elle-même (plusieurs couches de neurones) n'est pas nécessaire (elle n'apporte rien concernant la problématique de cette activité) et ne figure d'ailleurs pas au programme. L'exercice 7, page 47, permet cependant d'aller un peu plus loin pour ceux qui souhaiteraient cet approfondissement.

Le **document 2** permet de mettre en évidence la différence d'acuité visuelle entre la vision centrale et la vision périphérique. Le graphique est accompagné d'une schématisation « à plat » de cette répartition, que l'on pourra rapprocher facilement de la première photographie du document 1 (mêmes couleurs). À noter qu'on observe non seulement une variation de la densité relative des deux types de photorécepteurs mais aussi une variation importante du diamètre des cônes (les cônes de la fovéa sont beaucoup plus fins). On établit ici une première relation entre les propriétés de la vision et la répartition spatiale des différents photorécepteurs. La mise en relation du graphique montrant l'acuité visuelle en fonction de l'excentricité et la densité des cônes et bâtonnets conduit à la compréhension de l'importance de la fovéa dans la vision diurne : la fovéa correspond à la densité maximale des cônes, permettant la vision en couleurs avec la meilleure acuité. Il faut bien faire comprendre que l'essentiel de la vision diurne implique cette zone restreinte de la rétine (d'où les conséquences de la DMLA).

Le **document 3**, mis en relation avec les deux autres, permet une comparaison de la

vision nocturne et de la vision diurne. Comme la vision nocturne fait appel aux bâtonnets, actifs seulement pour un faible éclaircissement et que ceux-ci ne permettent pas la perception des couleurs, cette dimension de la vision du monde n'est pas perceptible dans de telles conditions. L'étude de la répartition des bâtonnets dans la rétine (doc. 2) reliée aux informations de ce document permet de montrer que la meilleure acuité visuelle nocturne est obtenue quand les objets observés ne sont pas situés sur l'axe optique. C'est pour une excentricité de 20 degrés que l'image d'un objet se forme sur la rétine dans la zone où elle comporte la densité maximale des bâtonnets. Cependant, dès que les conditions d'éclaircissement sont suffisantes, c'est la vision diurne impliquant les cônes qui est mise en œuvre (les bâtonnets sont alors saturés et inopérants). La complémentarité des deux types de photorécepteurs rétiniens est ainsi mise en évidence.

2. Les pistes de travail

1. Le terme de « photorécepteurs » est employé pour ces cellules sensibles de la rétine puisque c'est la perception de signaux lumineux qui déclenche de leur part l'émission d'un message nerveux à destination du cerveau. En effet, ces cellules ont la particularité de renfermer un pigment photosensible.
2. La lecture nécessite un bon éclaircissement puisqu'elle est réalisée par les cônes (potorécepteurs ultramajoritaires dans la fovéa), qui sont peu sensibles (moins que les bâtonnets). Or, cette zone où la densité des cônes est maximale est de petite taille : pour que l'image du texte se forme continuellement sur cette zone, l'œil doit suivre la ligne, mot à mot en permanence, de façon très précise.
3. La vision centrale se fait au niveau de la fovéa, surtout garnie de cônes. Ceux-ci étant peu sensibles, elle nécessite un plus fort éclaircissement (vision diurne). Du fait de la densité maximale des cônes, l'acuité visuelle est excellente. Comme cette vision implique les différentes catégories de cônes, la vision des couleurs est possible. La vision périphérique fait appel aux portions de rétine situées en dehors de la fovéa, et donc plus riches en bâtonnets qu'en cônes. Elle est donc possible même si l'éclaircissement est faible (vision nocturne). Pour la même raison, la vision périphérique est peu précise. Les bâtonnets ne permettent pas de distinguer les couleurs (une seule sorte de photorécepteurs) et la vision s'effectue donc en « nuances de gris ».
4. La DMLA correspond à une disparition progressive, plus ou moins rapide, des cônes de la partie centrale de la rétine. En conséquence, il se forme une tache noire dans le centre du champ visuel. Le handicap est très important car le sujet ne peut, par exemple, plus lire (perte de la partie centrale du champ visuel, très mauvaise acuité de la vision périphérique). Cependant, la cécité ne sera pas totale car les bâtonnets ne sont pas atteints.

3. Ressources complémentaires

- **Manuel numérique Bordas** : Fiche documentaire « Un nouvel implant a permis à un aveugle de déchiffrer des lettres et des mots ».
- **Manuel numérique Bordas** : Fiche documentaire « Une affection chronique, la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) ».
- **Dossier INRP** sur la vision, Françoise Jauzein : http://acces.inrp.fr/acces/ressources/neurosciences/vision/index_html
- **Un site sur la DMLA** : <http://www.dmlainfo.fr/>

De la rétine au cerveau (p. 34-35)

Connaissances	Capacités et attitudes
Le message nerveux visuel emprunte des voies nerveuses jusqu'au cortex visuel.	<ul style="list-style-type: none"> - Déterminer les rôles des photorécepteurs et de l'organisation anatomique des voies visuelles dans la perception d'une image. - Relier certaines maladies et certaines anomalies génétiques à des déficiences visuelles.

1. Les intentions pédagogiques

L'activité a pour but de montrer que la vision est, biologiquement, une activité nerveuse : il s'agit donc de présenter les voies le long desquelles circulent les messages nerveux issus de la rétine et de montrer ainsi que voir est une activité impliquant nécessairement une partie du cerveau.

Les auteurs proposent de commencer par montrer que la vision implique le cerveau : ainsi la problématique du lien entre rétine et cerveau et de la nature des messages circulant se trouvera clairement posée. Cette façon de procéder s'inscrit parfaitement dans une démarche d'investigation.

Les images du **document 1** (obtenues par tomographie par émission de positons et IRM) permettent de montrer l'existence d'une spécialisation des régions du cerveau, et en particulier de localiser les aires visuelles au niveau occipital. L'image correspondant aux mots écrits constitue une première approche de la liaison entre vision et langage, détaillée dans l'activité 4.

Le **document 2** permet de préciser les informations tirées du document 1. On y voit que l'aire visuelle occipitale est une carte du champ visuel : à chaque portion du champ visuel (et donc de la rétine) correspond une partie du cortex visuel primaire. On remarque de plus que la portion du champ visuel dont l'image se forme sur la fovéa est celle à laquelle correspond la plus grande surface corticale. Ceci montre la liaison entre la densité des photorécepteurs et la surface corticale correspondante. À ce stade, on se contentera de cette première approche (cortex visuel primaire). Les rôles plus complexes des autres aires visuelles seront envisagés au cours de l'activité suivante.

Le trajet des voies visuelles est présenté sur le **document 3**. La mise en relation des deux images, l'une montrant le point aveugle de la rétine (et donc le départ des fibres nerveuses issues de la rétine), l'autre montrant la suite des voies visuelles, permet de bien visualiser la connexion entre les photorécepteurs rétiens et le cortex occipital. L'existence du « point aveugle » (zone dépourvue de photorécepteurs) pourra être mise en évidence grâce à la célèbre expérience de Mariotte : voir « Des clés pour... mieux comprendre l'histoire des sciences », page 45. C'est bien à ce stade de l'étude que la mise en évidence de cette particularité de la rétine se justifie.

Le **document 4** permet enfin une approche simplifiée de la nature de l'information circulant par les voies visuelles découvertes dans le document 3. Les messages nerveux sont de nature électrique et sont codés en fréquence. En première approche, on

considèrera qu'un stimulus lumineux engendre une salve de potentiels d'action, la réalité étant cependant bien plus complexe. L'essentiel est de bien faire comprendre que ce n'est pas de la lumière qui parvient au cerveau mais un message de nature bioélectrique : la vision est bel et bien un phénomène nerveux.

2. Les pistes de travail

1. L'image obtenue par tomographie par émission de positons alors que l'individu lit des mots montre que l'arrière du cerveau ainsi qu'une zone située sur la partie arrière-droite sont actives. Ce sont les seules zones actives, et elles diffèrent de celles actives lors d'une stimulation auditive. La vision est donc associée à une activité de portions précises du cerveau, qui apparaissent spécialisées dans la fonction visuelle.

2. La zone occipitale (arrière du cerveau) qui est activée par des stimulations visuelles (document 1) est une « cartographie du champ visuel » : chaque secteur de ce cortex correspond à une partie du champ visuel. Les zones du champ visuel correspondant à la fovéa (la partie de rétine la plus riche en cônes) sont « représentées » dans le cerveau par une zone très étendue. On remarque que l'hémisphère cérébral droit correspond au champ visuel gauche.

3. Voir schéma-bilan page 42 : le champ visuel gauche est perçu par les deux moitiés droites des rétines des deux yeux. Les messages nerveux partant de la moitié droite de la rétine de l'œil gauche passent par les fibres du nerf optique gauche et rejoignent les messages issus de la moitié droite de la rétine de l'œil droit et passant, elles, par les fibres du nerf optique droit (jonction au niveau du chiasma optique). Ces deux groupes de fibres sont ensuite reliées au cortex occipital droit (*via* le corps genouillé latéral droit, dont on parlera dans le chapitre 4, page 68).

4. Le message transmis depuis la rétine est composé de signaux électriques dont le nombre est en relation avec l'intensité de la stimulation : c'est un message nerveux. Les stimuli lumineux sont ainsi codés par la fréquence des signaux constituant ce message nerveux.

3. Ressources complémentaires

■ **Manuel numérique Bordas :**

Fiche documentaire « Anton Räderscheidt (1892 - 1970) ».

■ **Site :**

Le cerveau à tous les niveaux : la vision

http://lecerveau.mcgill.ca/flash/d/d_02/d_02_cr/d_02_cr_vis/d_02_cr_vis.html

La vision : une construction cérébrale (p. 36-37)

Connaissances	Capacités et attitudes
L'imagerie fonctionnelle du cerveau permet d'identifier et d'observer des aires spécialisées dans la reconnaissance des couleurs, ou des formes, ou du mouvement.	<ul style="list-style-type: none"> - Relier certaines maladies et certaines anomalies génétiques à des déficiences visuelles. - Expliquer à partir de résultats d'exploration fonctionnelle du cerveau ou d'étude de cas cliniques, la notion de spécialisation fonctionnelle des aires visuelles.

1. Les intentions pédagogiques

Cette activité a pour but de montrer que la perception visuelle est finalement une activité cérébrale et qu'elle est réalisée par des traitements séparés des différents aspects de la scène vue, puis d'une intégration des informations perçues par le cortex visuel à tout instant. Comme les programmes le recommandent, les documents font appel à des études de cas cliniques et à des résultats d'exploration fonctionnelle du cerveau. Les exemples présentés ici s'appuient pour une large part sur les travaux célèbres de Semir Zeki (University College London).

Ainsi, le **document 1** présente le cas d'un individu souffrant d'un défaut de perception des couleurs (identifiable d'après la comparaison du tableau de Mondrian et de sa reproduction) suite à la lésion d'une zone précise du cortex visuel (aire V4). En revanche, les formes, leur position dans le champ visuel, sont bien perçues.

Le **document 2** permet de localiser cette aire visuelle ainsi qu'une seconde aire, cette fois associée à la perception des mouvements. La comparaison de ces images d'exploration fonctionnelle permet de se rendre compte qu'il existe des zones différentes pour traiter deux aspects d'une scène observée, ces deux aires étant situées dans des endroits distincts du cortex visuel. Conformément au programme, il ne s'agit pas ici d'entrer dans une description anatomique du cerveau pour localiser précisément ces aires visuelles. Elles sont citées uniquement pour donner l'idée d'un traitement séparé des informations visuelles.

Le **document 3**, par l'étude d'un second cas clinique, montre l'existence d'une troisième zone spécialisée cette fois dans le traitement des informations relatives aux formes présentes dans une image. En effet, ici, la couleur et le mouvement n'interviennent pas : le sujet est incapable de reconnaître les objets à leur seule forme. Dans leur vécu quotidien, les sujets atteints de tels troubles utilisent souvent uniquement la couleur pour identifier les objets, ce qui conduit, inévitablement, à de nombreuses erreurs. Cette présentation est nécessairement schématique : la réalité est beaucoup plus complexe, plusieurs aires visuelles secondaires pouvant être impliquées dans la vision des couleurs par exemple.

Le **document 4** réalise la synthèse des informations tirées des documents 1, 2 et 3 : trois zones corticales spécialisées traitent chacune une partie des informations de l'image, et l'intégration de ces traitements permet une perception visuelle unique, qui est donc bien une activité cérébrale complète.

Cette activité cérébrale se fait de façon différente d'un individu à l'autre : dans le cas d'une illusion d'« optique » de type image ambiguë, comme celle présentée dans le **document 5**, la même image (et donc la même stimulation rétinienne) ne produit pas la même perception. Chacun intègre dans la perception visuelle des informations qui lui sont propres et qui ne sont pas nécessairement les mêmes d'un individu à un autre.

2. Les pistes de travail

1. Le tableau de Mondrian est caractérisé par sa richesse en couleurs : sa vision « active » l'aire V4 (document 2) tandis qu'une lésion de cette même aire cérébrale se traduit par un déficit de la vision des couleurs du tableau (les autres caractéristiques de la vision comme la forme ou la disposition spatiale n'étant pas affectées). On peut donc penser que V4 est responsable de la vision des couleurs. Le second tableau suggère le mouvement et active l'aire V5. On peut penser que cette aire permet la vision des mouvements.
2. L'aire V3 intervient dans la perception des formes. En effet, les patients qui présentent des lésions dans cette zone cérébrale sont incapables de reconnaître la forme d'un modèle parmi un ensemble de propositions, et se fondent surtout sur la couleur des objets pour les reconnaître.
3. Quand un individu voit une scène, les messages nerveux issus de la rétine arrivent dans la région occipitale du cerveau et activent simultanément plusieurs aires spécialisées. L'aire V3 assure la perception des formes, l'aire V4 celle des couleurs et l'aire V5 celle des mouvements. L'ensemble de ces informations permet de reconnaître l'ensemble des éléments de la scène, aboutissant ainsi à une perception unique, intégrant les différentes informations parvenant au cortex visuel.
4. « Illusion d'optique » n'est pas une expression adaptée ici. Il s'agit plutôt d'une « illusion cérébrale », puisque c'est le cerveau qui perçoit de façon différente les mêmes informations visuelles pour construire les images des deux portraits. C'est finalement le cerveau qui donnera à chacun la perception visuelle de l'image observée.

3. Ressources complémentaires

- **Logiciel de visualisation des données** de neuroimagerie EduAnatomist
http://accs.inrp.fr/accs/ressources/neurosciences/Banquedonnees_logicielneuroimagerie/eduanatomist
- **Banque de données de neuroimagerie :**
http://accs.inrp.fr/accs/ressources/neurosciences/Banquedonnees_logicielneuroimagerie/test-architecture-neuropeda/architecture-de-la-banque-de-donnees-neuropeda-1/architecture-de-la-banque-de-donnees-neuropeda
- **Données de neuroimagerie** sur la vision des couleurs et les aires associées :
http://accs.inrp.fr/accs/ressources/neurosciences/Banquedonnees_logicielneuroimagerie/test-architecture-neuropeda/fiches-pedagogiques/1-irm/1-3-imagerie-fonctionnelle/1-3-1-sensibilite-motricite/1-3-1-3-vision/1-3-1-3-3-vision-des-couleurs/1-3-1-3-3-vision-des-couleurs
- **Données de neuroimagerie** sur la vision des mouvements et les aires associées :
http://accs.inrp.fr/accs/ressources/neurosciences/Banquedonnees_logicielneuroimagerie/test-architecture-neuropeda/fiches-pedagogiques/1-irm/1-3-imagerie-fonctionnelle/1-3-1-sensibilite-motricite/1-3-1-3-vision/1-3-1-3-2-vision-des-mouvements/1-3-1-3-2-vision-des-mouvements
- **Site :** Le cerveau à tous les niveaux : la vision
http://lecerveau.mcgill.ca/flash/d/d_02/d_02_cr/d_02_cr_vis/d_02_cr_vis.html

De la vision au langage (p. 38-39)

Connaissances	Capacités et attitudes
La reconnaissance d'un mot écrit nécessite une collaboration entre les aires visuelles, la mémoire et les structures liées au langage.	Établir les relations entre coopération des aires cérébrales, plasticité des connexions et activité de lecture.

1. Les intentions pédagogiques

Après avoir compris les mécanismes de la vision, et en particulier le fait qu'il s'agisse d'une activité cérébrale, cette quatrième activité a pour objectif de faire une première approche de la relation entre la perception visuelle et le langage écrit. D'une façon plus générale, il s'agira de montrer que le cerveau n'est pas figé mais au contraire doté d'une étonnante « plasticité ».

Le **document 1** met en évidence, à partir d'exemples cliniques, l'existence de deux aires cérébrales (situées dans l'hémisphère cérébral gauche) manifestement spécialisées dans le langage, l'aire de Broca et l'aire de Wernicke. Les informations données permettent d'en préciser les fonctions. Historiquement (en 1861), l'aire de Broca a d'abord été considérée comme le centre unique du langage. Dix ans plus tard, les découvertes effectuées par Wernicke montraient déjà une réalité plus complexe.

Il est important de bien comprendre que les lésions de l'aire de Broca n'affectent en rien la motricité. Cette aire peut être considérée comme celle de la « planification » de la prononciation des mots reconnus. L'aire de Wernicke joue, quant à elle, un rôle dans la compréhension des mots lus. Il peut être intéressant de noter que ces aires sont également en activité chez les sourds-muets qui s'expriment en langage des signes.

Il est donc établi que la reconnaissance d'un mot écrit implique plusieurs territoires cérébraux, au-delà des simples aires visuelles. Cependant, cette approche, qui attribue un rôle précis et successif à différents territoires cérébraux a ses limites : les études actuelles sur le langage montrent un fonctionnement beaucoup plus complexe, impliquant simultanément différents circuits neuronaux.

Le **document 2** permet de montrer très concrètement que le langage, même à un niveau élémentaire, est effectivement une activité complexe. Ce test doit être effectué assez rapidement et sans essai préalable.

Pour les deux premières lignes il y a concordance entre le sens du mot écrit et sa couleur. Il y a au contraire discordance dans les trois lignes suivantes.

Tous les sujets vont donc énoncer correctement la couleur des mots écrits sur les deux premières lignes. En revanche, pour les trois lignes suivantes :

- les sujets qui ne maîtrisent pas le langage (par exemple les enfants qui ne savent pas encore lire) vont sans problème énoncer la couleur du mot écrit ;
- les sujets qui savent bien lire vont au contraire percevoir deux informations contradictoires puisqu'il n'y pas cohérence entre le sens du mot et sa couleur. On constate alors souvent un temps de réflexion ou d'hésitation avant la production d'une réponse.

La seconde partie de l'activité illustre la plasticité cérébrale à partir de l'exemple de la lecture en braille.

Le **document 3** met en évidence le changement possible de fonction des aires corticales associées à la vision chez les non-voyants. Celles-ci sont en effet sollicitées pour la lecture des mots écrits en braille, c'est-à-dire perçus par l'intermédiaire du sens du toucher. Une sorte de « reprogrammation » des neurones des aires visuelles leur permet d'être utilisés pour une tâche différente, du fait de l'absence de stimulations visuelles reçues par le non-voyant. On pourra y associer le cas étonnant de la « vision avec la langue » présenté page 44 (« Des clés pour... aller plus loin »).

L'expérience récente relatée par le **document 4** montre que cette « reprogrammation » peut avoir lieu chez une personne voyante s'entraînant à lire le braille dans les conditions d'un non-voyant (sans stimulation visuelle). L'intérêt de cette expérience est de démontrer que cette évolution peut se produire très rapidement et de façon transitoire. Une plasticité cérébrale à court terme est ainsi mise en évidence. Elle ne peut donc reposer sur une restructuration anatomique du cerveau mais plutôt sur l'activation de circuits neuronaux déjà existants.

(À noter que dans la première impression du manuel, une erreur s'est glissée concernant la légende du graphique b : pour les sujets témoins, la réponse des neurones du cortex visuel répondant à des stimuli tactiles est de 0 et non de 1. Cette erreur est corrigée dans la réimpression des exemplaires du manuel destinés aux élèves.)

2. Pistes d'exploitation

1. Les lésions de l'aire de Broca perturbent l'élocution mais pas la compréhension, au contraire des lésions de l'aire de Wernicke. L'aire de Wernicke intervient donc dans la compréhension des mots, et l'aire de Broca dans leur prononciation.

2. Un sujet qui sait bien lire tient instantanément compte de deux informations, le sens du mot écrit et la couleur avec laquelle il est écrit. Quand ces deux informations sont contradictoires, une hésitation peut se produire. Ceci prouve donc qu'au moins deux informations sont prises en compte pour la lecture : ici, il s'agit de la reconnaissance du mot (forme et association des lettres) et de sa couleur.

3. Les aires visuelles du patient non-voyant sont actives lorsqu'il lit du braille, ce qui n'est pas le cas pour une personne voyante. Cela signifie que les neurones de cette partie occipitale du cerveau ont changé de fonction : au lieu de traiter les messages nerveux venant de la rétine, ils traitent maintenant ceux qui proviennent des récepteurs tactiles des doigts.

4. Le document 3 montre que les neurones peuvent changer de fonction (être « reprogrammés »), et le document 4 confirme ce fait puisque les personnes voyantes entraînées à lire le braille les yeux bandés voient temporairement certains de leurs neurones normalement impliqués dans la vision se mettre à traiter des informations tactiles. Les aires cérébrales n'ont donc pas une spécialisation stricte et définitive, leur fonction dépend des stimulations sensorielles reçues. C'est la plasticité cérébrale.

3. Ressources complémentaires

■ **Livre :**

Les neurones de la lecture, Stanislas Dehaene, Éditions Odile Jacob.

■ **Site :**

Le cerveau à tous les niveaux : le langage

http://lecerveau.mcgill.ca/flash/d/d_10/d_10_cr/d_10_cr_lan/d_10_cr_lan.html

Vision des couleurs et parenté chez les primates (p. 40-41)

Connaissances	Capacités et attitudes
L'étude comparée des pigments rétiens permet de placer l'Homme parmi les primates.	Justifier la place de l'Homme au sein des primates à partir de la comparaison des opsines ou des gènes les codant.

1. Les intentions pédagogiques

En se fondant sur l'étude d'anomalies comme le daltonisme, la dernière activité de ce chapitre permet d'aller un peu plus loin en ce qui concerne les bases génétiques de la vision des couleurs. Mais l'objectif est surtout de montrer que l'on peut utiliser ce que l'on sait des modalités de la perception des couleurs comme mode d'établissement d'une parenté entre l'Homme et d'autres espèces animales. On montre ainsi que le concept d'évolution repose sur des arguments bien établis. Les auteurs ont pensé judicieux de traiter cet aspect à la fin du chapitre, car il s'agit ici d'un prolongement à l'étude de la vision proprement dite.

Le **document 1** permet de comprendre l'origine des trois pigments contenus dans les différents cônes rétiens et ainsi d'expliquer l'origine génétique du daltonisme. La comparaison de la version trichromate et de la version protanope du célèbre tableau de Monet, *Les Coquelicots*, mise en relation avec les informations sur le daltonisme, montre clairement la déficience de perception du rouge, en relation avec le non-fonctionnement du gène responsable de la production de l'opsine sensible à cette radiation. La comparaison des trois modèles moléculaires montre très visuellement la grande ressemblance entre ces trois protéines, ce qui amène à penser que les gènes qui permettent leur synthèse sont proches, ce qui sera exploré dans l'étude des documents 3 et 4.

Dans cette étude, il convient de bien distinguer :

- l'étude comparée des différentes versions d'un même gène entre plusieurs espèces ;
- la complexification du génome due au phénomène de duplication génique, à l'origine de la vision trichromatique.

Le **document 2** montre la comparaison des séquences des allèles du gène codant pour l'une des opsines pour quatre primates et un mammifère non-primate. La comparaison des portions de séquences montre la grande ressemblance entre les espèces de primates, et un moindre degré avec la Souris ; ces informations sont concordantes avec celles du tableau. On peut ainsi d'ores et déjà regrouper l'Homme avec les autres primates (plus grande proximité qu'avec la Souris) et préciser la place de l'Homme au sein de ce groupe (très grande proximité génétique avec le Chimpanzé).

En reliant les informations du **document 3** avec celles du document 1, on met en évidence que certaines espèces ont acquis un gène supplémentaire, celui de l'opsine V, et donc qu'un enrichissement du génome a eu lieu au cours de l'histoire évolutive des primates, permettant à la plupart d'entre eux de bénéficier d'une vision trichromatique (contrairement à la plupart des mammifères non primates).

Le **document 4** est un arbre phylogénétique simplifié des espèces présentées dans le document 1. Les élèves ont déjà analysé ce type d'arbre au collège en classe de 3^e.

La mise en relation des informations des documents 2 et 3 avec ce dernier document permet de réaliser une synthèse et de montrer la parenté entre les primates trichromates. La Souris et le Saïmiri étant dichromates, l'acquisition du gène de l'opsine V peut donc être située après la divergence de la lignée du Saïmiri. L'Homme est ainsi placé parmi les primates trichromates, comme le Macaque et le Chimpanzé (d'après les documents 2 et 3) et possède une parenté plus étroite avec ce dernier (comme les comparaisons du document 2 le montrent).

2. Pistes d'exploitation

1. Le daltonisme se manifeste par des confusions dans la perception des couleurs du fait de l'absence d'un des trois types de cônes de la rétine (confusion vert / rouge chez les daltoniens protanopes). C'est une anomalie génétique puisqu'elle est due au non-fonctionnement d'un des trois gènes responsables de la production d'opsines, pigments photosensibles responsables de la sensibilité des cônes à certaines radiations lumineuses.
2. Les ressemblances entre ces gènes sont très importantes et ne peuvent s'expliquer que par des relations de parenté entre les espèces considérées. La comparaison montre que le gène humain ressemble plus à celui du Chimpanzé, mais est aussi très proche de celui des deux autres primates (le gène de la Souris étant plus éloigné). Cela montre une parenté proche entre l'Homme et les autres primates (plus de 93 % de ressemblance entre leurs gènes de l'opsine sensible au bleu).
3. La vision des couleurs s'accompagne d'un enrichissement du génome, car on constate que l'Homme et les primates les plus proches (Macaque et Chimpanzé) ont une vision trichromatique (fondée sur la perception de trois couleurs)... En effet, ils possèdent un gène supplémentaire par rapport aux autres espèces citées dans le document (Saïmiri et Souris) qui ont, elles, une vision dichromatique.
4. L'Homme est placé dans l'arbre à côté du Chimpanzé et du Macaque, car ils ont tous les trois une vision trichromatique (doc. 4) et ont donc tous trois le gène de l'opsine sensible au vert (doc. 3). L'Homme est par ailleurs placé à côté du Chimpanzé, avec qui il possède le plus de ressemblance pour le gène de l'opsine sensible au bleu (doc. 2).

3. Ressources complémentaires

- **Logiciel Anagène :**
comparaison des gènes de l'opsine S (sensible au bleu).

La correction des exercices 1 à 5 figure dans le manuel de l'élève page 230.

6 Le diamètre apparent de la Lune

- a. Faux. La Lune n'est pas plus proche lorsqu'elle est plus basse sur l'horizon.
- b. Faux. Aucun phénomène optique ne peut expliquer cette observation.
- c. Vrai. C'est le cerveau qui exagère la perception du diamètre apparent de la Lune.
- d. Vrai. Le cerveau crée la perception visuelle du diamètre de la Lune d'après la vision de la Lune bien entendu, mais aussi en tenant compte des autres objets perçus au premier plan.

7 Acuité visuelle et structure de la rétine

1. Dans la région de la fovéa, la rétine ne comporte que des cônes, en forte densité (180 000 par mm^2). Chaque cône est relié à un neurone intermédiaire et finalement à une fibre du nerf optique.

En région périphérique, la très grande majorité des photorécepteurs sont des bâtonnets (20 fois plus de bâtonnets que de cônes). Le câblage s'établit par convergence, de telle sorte qu'une même fibre du nerf optique transmet les messages issus de plusieurs bâtonnets.

2. Les cônes permettent une meilleure acuité visuelle. Dans la fovéa, leur nombre, leur petite dimension et le câblage de la rétine permettent de transmettre au cerveau des informations différentes pour des points très rapprochés. En région périphérique, la perception par les bâtonnets, moins nombreux, plus gros et convergents ne permet pas une telle acuité visuelle : des points rapprochés donneront naissance à un message finalement transmis par la même fibre du nerf optique et ne seront donc pas distingués les uns des autres.

8 La lecture recycle une partie du système visuel

D'après cette étude, l'apprentissage de la lecture reposerait sur le phénomène de plasticité cérébrale. En effet, il n'existerait pas dès la naissance une aire cérébrale dont le rôle serait prédéterminé pour la lecture : chez les personnes illettrées, cette zone est utilisée pour la reconnaissance des visages. La zone de reconnaissance des mots, que l'on trouve chez les personnes sachant lire, se formerait par reconversion d'une partie de la zone initialement dévolue à la reconnaissance des visages. Elle est plus importante si la personne sait bien lire. Cette reconversion, qui témoigne de la plasticité du cerveau, est possible chez l'adulte comme pendant l'enfance.