



Plus qu'un simple coup d'oeil

Anne-Lise Paradis

► To cite this version:

Anne-Lise Paradis. Plus qu'un simple coup d'oeil. Textes et documents pour la classe, 2013, La vision, 1066, pp.8-13. hal-03194573

HAL Id: hal-03194573

<https://hal.science/hal-03194573>

Submitted on 21 Apr 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Le Point : Plus qu'un simple coup d'œil

Former une image, l'analyser et l'utiliser ensuite implique la coopération entre l'œil, site de réception de la lumière, et le cerveau, centre de traitement de cette information lumineuse.

Par Anne-Lise Paradis, chargée de recherche au CNRS, unité de neurobiologie des processus adaptatifs

(Je vois, et alors ? Figures 1 et 2)

Il suffit que j'ouvre les yeux dans une pièce éclairée pour voir... un ordinateur devant moi, une tasse que j'attrape pour finir mon café, un insecte que je chasse de la main, et un drôle de nuage par la fenêtre... Imagine-t-on la quantité d'information qui transite depuis le monde extérieur jusqu'à notre cerveau lorsque nous laissons vagabonder notre regard, et le nombre de transformations que subit un rayon de lumière pour devenir une pensée : « Tiens ! On dirait un chien » ? Et pourtant !

Voir requiert d'abord de *recevoir* de la lumière sur la rétine. Voir implique ensuite de *concevoir* ce que représentent ces taches de lumière : décoder l'information reçue, y reconnaître un objet ou une personne connue, et parfois en élaborer une interprétation très personnelle. Voir, c'est enfin *prévoir* ce qui va changer autour de moi si je fais un geste ou si quelque chose à côté de moi se met à bouger, car ce n'est qu'en anticipant ce que je dois voir que je peux ajuster rapidement et efficacement mes mouvements à mon environnement, et ainsi attraper ma tasse sans la renverser, ou chasser pour de bon l'insecte qui me harcèle depuis tout à l'heure.

L'œil : Système optique et neuronal

(Fenêtre sur cerveau)

Pour recevoir la lumière nous disposons avec l'œil d'un merveilleux système optique. L'iris, comme un diaphragme, permet de moduler la quantité de lumière pénétrant par la pupille. La cornée et le cristallin forment l'équivalent d'une lentille qui focalise les rayons lumineux issus d'un point du monde extérieur sur un point de la rétine, afin de projeter sur la rétine une image nette de l'environnement. Lorsque ce système présente des imperfections, la vision est altérée. C'est le cas dans la cataracte où l'opacité du cristallin constitue un obstacle au passage de la lumière. La lumière peut aussi se trouver déviée de son chemin optique optimal. C'est le cas dans la myopie (resp. hypermétropie) où l'œil est trop long (resp. trop court) par rapport à la puissance de la lentille ; et dans l'astigmatisme où la courbure de la lentille oculaire inégale entre deux axes – vertical et horizontal par exemple, étire l'image de chaque point dans la direction d'un de ces axes... Nous verrons plus loin dans ce numéro¹ de nouvelles techniques médicales de correction des défauts optiques.

(La rétine : une enclave cérébrale)

La rétine, qui reçoit les faisceaux lumineux au fond de l'œil, est composée de neurones, ces mêmes cellules qui constituent le cerveau. La rétine est donc une parcelle de cerveau en interface directe avec l'image du monde extérieur. Cette image y est transformée en signal bioélectrique par différents photorécepteurs : les bâtonnets sensibles à la luminosité, et trois types de cônes sensibles à différentes gammes de longueurs d'onde. Ainsi traduite, l'image lumineuse devient analysable et modifiable par d'autres neurones. Voici la fin du chemin optique et le début d'une longue cascade de traitement de l'information.

La distribution des photorécepteurs entre le centre (la fovéa) et la périphérie de la rétine est déjà à l'origine d'une première sélection de l'information reçue. Dans la fovéa, face au centre de l'image, les cônes présents de façon très

¹ Article de Cédric Lamirel et Lara Azzarone. Il montre également que l'œil ne se contente pas de recevoir de l'information mais peut aussi en fournir au médecin sur la santé du patient. Il s'agit bien d'une fenêtre à double sens !

dense reçoivent et transmettent une information colorée de haute résolution, qui nous permet de profiter pleinement des détails de notre écran HD. Autour de la fovéa, une grande densité de bâtonnets assure en vision nocturne une sensibilité de perception maximale à quelques degrés du centre. On s'en rend compte en observant le ciel par une nuit dégagée : certains amas d'étoiles bien visibles de côté semblent disparaître dès qu'on veut les fixer. En périphérie, la densité des récepteurs est bien moindre ; de plus les signaux des récepteurs voisins sont sommés entre eux à l'étape suivante de façon à augmenter la sensibilité de détection à un événement visuel faible. En conséquence, impossible de distinguer les détails... mais il est probable que le moucheron de tout à l'heure continue de voler quelque part à notre gauche...

Une seconde série de transformations est effectuée par les cellules dites bipolaires et horizontales qui reçoivent les signaux des photorécepteurs, puis par les cellules amacrines et ganglionnaires auxquelles elles transmettent leurs propres signaux. La compression d'information réalisée ici est impressionnante : pour environ 120 millions² de photorécepteurs (l'équivalent d'une photographie de 120 Megapixels), il n'y a plus qu'un million de cellules ganglionnaires, et donc autant de fibres nerveuses à l'intérieur du nerf optique pour transmettre l'image rétinienne au reste du cerveau. Comment est-ce possible ? En ne transmettant que l'information la plus utile, à savoir les variations locales de luminosité, au détriment des plages unies. Ainsi, les cellules ganglionnaires ne codent plus des niveaux de luminosité, mais des contrastes de lumière entre le centre et le pourtour de leur champ récepteur (voir glossaire). De plus, on distingue parmi celles-ci deux grandes catégories : celles dites magnocellulaires (littéralement « à grosse cellule ») présentent une réponse rapide aux changements de luminosité même faibles ; ce sont de bons détecteurs des mouvements dans le champ visuel. Celles dites parvocellulaires (littéralement « à petite cellule ») ont une réponse plus lente et à de forts contrastes uniquement ; elles sont plus aptes à analyser les détails fixes de l'image. Cette distinction est conservée au-delà de la rétine, au niveau corps genouillé latéral, principal relai avant le cortex cérébral.

De la lumière aux différentes caractéristiques visuelles

(1 œil + 1 œil = 1 espace, 3 dimensions)

Les nerfs optiques qui véhiculent l'information rétinienne vers le cortex cérébral se croisent au niveau de ce qu'on appelle le chiasma optique. Là, les fibres nerveuses en provenance des deux yeux sont redistribuées de telle sorte que toutes les informations venant du champ visuel droit sont reçues par l'hémisphère cérébral gauche –et réciproquement– quel que soit l'œil (gauche ou droit) dont provient cette information. Cette redistribution a deux conséquences : 1) l'information se retrouve organisée selon un seul espace (malgré deux entrées visuelles) ; 2) il est possible de comparer dans cet espace les images issues de chaque œil. La différence entre ces images est liée au fait que chaque œil possède son propre point de vue. Nommée disparité binoculaire, elle permet de reconstruire le relief dans la portion vue par les deux yeux. On trouve des neurones spécifiquement sensibles à cette disparité dès ce qu'on appelle l'aire visuelle primaire.

(Aire visuelle primaire, V1)

Située sur le pôle occipital, V1 comporte deux grandes catégories de neurones : les cellules simples, aux champs récepteurs oblongs, sont sensibles à la présence de contrastes allongés, comme des segments ou des portions de contours d'objets ; les cellules complexes sont sensibles au mouvement et codent chacune une direction spécifique. On trouve aussi dans V1, en moindre proportion, des cellules dites hypercomplexes activées plus spécifiquement par des singularités (points, intersections ou extrémités de contours...), ainsi que des cellules, regroupées en petits amas, codant la couleur. Comme dans la rétine, chaque cellule de V1 n'est sensible qu'à une petite partie du champ visuel et la portion à laquelle elle est sensible dépend directement de sa position à l'intérieur de V1. Cette organisation spatiale, similaire à celle de l'image rétinienne, a fait comparer V1 à un écran sur lequel serait projetée l'image

² En réalité 120 millions de bâtonnets et 6 millions de cônes

rétinienne. Il serait plus juste d'y voir une carte décrivant en chaque point du champ visuel la couleur captée, l'orientation des contours présents, la direction de mouvement, ainsi que la profondeur par rapport au point fixé.

(Hiérarchie de traitement et spécialisation fonctionnelle, Figure 3)

A chaque fois que l'information visuelle est transmise à des régions –ou aires– cérébrales dites supérieures, une nouvelle carte est créée, différente de la précédente. Tout d'abord, les neurones des aires supérieures prenant en compte les informations issues de plusieurs cellules de la région inférieure, ils vont généralement « voir » toute la portion de champ visuel couverte par celles-ci. Les champs récepteurs deviennent ainsi plus larges, et l'activité des neurones moins dépendante de la position de la stimulation dans le champ visuel.

Cette convergence progressive des informations conduit parallèlement à une complexité croissante des caractéristiques visuelles codées. Partant de neurones répondant à un bout de contour orienté dans V1, on trouvera des neurones codant un ensemble d'orientation (des textures) dans l'aire supérieure V2, d'autres codant des formes complexes dans des régions latérales occipitales (LO), pour aboutir à des neurones spécialisés dans certaines catégories d'objets et même dans les visages au bout de la voie dite ventrale.

A mesure que la complexité de l'information traitée s'accroît, la nature de l'information se diversifie aussi. De multiples aires visuelles spécialisées analysent ainsi en parallèle les différentes caractéristiques de la scène visuelle. Outre LO, nous pouvons citer V5 qui permet de détecter les mouvements ; V4 qui contribue à la perception des couleurs, et en particulier au phénomène de « constance des couleurs » par lequel une tomate reste rouge et une banane jaune quelle que soit la lumière ambiante (éclairage néon, plein soleil, journée nuageuse...). On peut se rendre compte à quel point les éclairages (éclairage plein soleil, néon, flash...) modifient la tonalité lumineuse en désactivant l'option de balance des blancs automatique (AWB) sur un appareil photo numérique.

Avec la spécialisation des régions cérébrales, la représentation du champ visuel change également et tend à se déformer en fonction de l'information codée. Certaines régions spécialisées dans l'analyse fine des détails des objets comportent bien plus de neurones sensibles au centre du champ visuel qu'à sa périphérie. Des régions dédiées à l'estimation de nos propres déplacements favoriseront au contraire le champ périphérique. Ainsi un large mouvement en bordure de notre champ de vue nous laisse croire que notre train démarre alors quand c'est celui d'à côté qui part en sens inverse.

Deux voies de traitement visuel

(Figure 4)

Faisons maintenant le point sur la façon dont ces différentes régions sont organisées. Des études chez l'animal ont révélé deux réseaux d'aires plus connectées entre elles, et formant deux voies parallèles : une voie dorsale de V1 vers le cortex pariétal via V5, et une voie ventrale de V1 vers le cortex temporal via LO et V4. L'étude de cas cliniques a permis d'attribuer des rôles fonctionnels différents à ces voies. En effet, des patients lésés au niveau du lobe pariétal deviennent incapables d'atteindre ou manipuler correctement un objet qu'ils reconnaissent pourtant parfaitement. Au contraire, des patients présentant des lésions dans le cortex temporal ne sont plus capables d'identifier les objets qui leur sont présentés, alors qu'ils restent capables de les manipuler sans problème. Il se pourrait que la voie dorsale traite des informations de lieu (« où cela se trouve-t-il ? ») alors que la voie ventrale traite plutôt la forme et l'identité des objets. Il se peut aussi que la voie dorsale analyse l'information visuelle pour diriger une action (« comment l'attraper ? »), et que la voie ventrale l'analyse pour aboutir à une identification. De nombreuses études d'imagerie continuent à faire débat sur le sujet. Cependant, la découverte de régions codant des formes tridimensionnelles non seulement dans la voie ventrale mais aussi dans la voie dorsale indique que la séparation des voies ne repose pas sur les informations traitées mais bien sur l'usage qui en est fait : reconnaître un objet ou agir dessus. Ainsi, analyser la structure tridimensionnelle d'une tasse dans la voie dorsale permet de préparer la forme que doit prendre la main pour la saisir.

Unité de la perception : problème du liage

Le fait que le traitement visuel soit réparti entre de multiples aires cérébrales spécialisées pose un problème conceptuel. Comment une scène visuelle codée de manière complètement éclatée dans le cerveau³ peut-elle donner lieu à une perception qui semble unifiée ? Qu'est-ce qui fait le lien entre les différents aspects visuels qui caractérisent un objet (contours, couleurs, profondeurs, déplacements, etc.) ? Le cerveau ne possède pas assez de neurones pour faire converger toutes ces informations vers un seul neurone qui représenterait l'objet en question. La représentation reste donc distribuée et plusieurs hypothèses sont avancées pour expliquer comment se fait le lien. Une des plus en vogue est l'idée d'une synchronisation des activités des neurones codant des caractéristiques du même objet. Reconnaître un objet ne consisterait donc pas à activer un neurone spécifique de cet objet mais à activer ensemble des neurones se rapportant tous au même objet.

L'œil, un organe mobile

Telle que présentée jusqu'ici, la perception visuelle pourrait sembler être une succession de traitements réalisés de manière automatique sur l'image captée par notre rétine. Pourtant, notre perception aussi facile nous semble-t-elle est loin d'être passive. L'œil est un organe mobile, et très actif, exécutant environ 3 saccades par secondes. Même lorsque nous pensons fixer un objet avec attention, l'œil continue d'effectuer de micro-mouvements. On pourrait penser que cette mobilité complique le traitement de l'information visuelle, car le système visuel doit s'adapter sans cesse à de nouveaux points de vue sur son environnement. Paradoxalement, c'est si l'œil était fixe que la vision serait impossible. Il faut parvenir à fixer intensément une image immobile sans bouger les yeux pour s'apercevoir que... les couleurs s'affadissent et l'image s'évanouit. Le mouvement des yeux est donc nécessaire car il permet aux récepteurs de ne pas être sollicités en continu et donc de recharger leur énergie pour continuer à fonctionner. De plus, pouvoir orienter mon regard me permet d'aller rechercher une information dans le champ visuel, de placer cette information intéressante au centre de la rétine, sur la fovéa, là où la résolution est la meilleure afin de l'analyser en détails. Si l'objet de mon intérêt se met à bouger, je peux le poursuivre des yeux pour le stabiliser sur ma fovéa et me laisser le temps de l'analyser en détail (via la voie ventrale lente). Nous verrons dans un autre article de ce numéro que le mouvement des yeux peut refléter l'intention de l'observateur, ses goûts et permet également d'établir un contact visuel et une communication non verbale avec autrui⁴.

La vision: histoire d'un aller et retour

Comment intègre-t-on ce caractère actif à la série des traitements décrits précédemment ? Probablement en s'intéressant aux grandes ignorées de cette description : les connexions retour (ou réciproques). Établissant un chemin en sens inverse de la hiérarchie visuelle, ces connexions transmettent à chaque région de l'information en provenance d'aires supérieures, visuelles ou non. Pourquoi ? On suppose que cela permet de moduler l'importance donnée aux différentes informations entrantes en fonction de ce que l'on sait déjà sur notre environnement, ou de ce que l'on est en train de faire. On pourra favoriser la détection de la couleur verte si on recherche dans la foule un ami portant habituellement du vert. On s'intéressera aux têtes qui dépassent si l'ami est grand. Un des articles de ce numéro développera l'importance pour le système visuel d'effectuer de tels choix a priori⁵. Pour des formes similaires, on pourra également favoriser une interprétation plutôt qu'une autre en fonction du contexte dans lequel on se trouve. Cette silhouette pourrait être celle d'une ombrelle, d'un parapluie ou d'un champignon ? S'il pleut, il y a des chances qu'il s'agisse d'un parapluie ... ou d'un champignon. Si je suis en ville et que l'objet est porté à bout de bras par un passant, j'opterai sans doute pour le parapluie. Réciproquement, avez-vous remarqué comme on peut mettre du temps à reconnaître sa boulangère lorsqu'on la croise dans le bus plutôt que dans sa boulangerie ?

³ Illustration : Tête raphaélesque éclatée, Salvador Dali, 1951

⁴ Article de Nathalie George

⁵ Article de Laurent Madelain et Anna Montagnini

Sans doute grâce à ces connexions retour permettant de lancer des hypothèses sur ce qui peut ou ne peut pas être vu dans un contexte donné, notre système visuel « remplit les trous ». Je déplace le regard, je cligne des yeux. L'information visuelle disparaît ou devient trop floue pour être interprétable le temps de ce mouvement pourtant je n'ai pas de sensation d'interruption. Par ailleurs, certaines illusions très populaires montrent à quel point nous pouvons être « aveugles » à certains changements visuels auxquels nous ne nous attendons pas⁶ (L'article suivant développera la question des illusions et l'intérêt qu'elles présentent pour mieux comprendre les mécanismes visuels). Cette incroyable capacité à générer des prédictions et compenser l'information manquante peut avoir des inconvénients. Dans le cas de certaines maladies de l'œil (DMLA, glaucome), elle atténue certainement la gêne ressentie avec la dégradation de la fonction visuelle et peut amener à consulter trop tard. Réciproquement, c'est aussi cette propension de notre cerveau à formuler des hypothèses sur l'identité de ce que nous voyons qui rend amusante l'observation des nuages (et celles des images de dalmatiens !).

En voir et en savoir plus

Richard L. GREGORY. L'oeil et le cerveau. Bruxelles : De Boeck (2000)

David HUBEL. L'œil, le cerveau et la vision. Paris : Pour la science (1994)

Irvin ROCK. La perception. Bruxelles : De Boeck (2000)

Robert W. RODIECK. La vision. Bruxelles : De Boeck (2000)

Julian ROTHENSTEIN, mel GOODING, Laurent BURY. L'oeil s'amuse. Paris : Autrement (2000)

Roger N. SHEPARD. L'oeil qui pense : Visions, illusions, perceptions. Paris : Seuil (2000)

Sites Internet :

<http://lecerveau.mcgill.ca> (Principes fondamentaux : Les détecteurs sensoriels-> la Vision)

⁶ Voir exemple du gorille (<http://www.theinvisiblegorilla.com/videos.html>), ou de change blindness, ainsi que l'article « Vision active »

Figures et légendes



Figure 1. Voir et concevoir. Notre perception ne repose pas seulement sur l'agencement des taches lumineuses projetées sur notre rétine, mais aussi sur notre capacité à les interpréter. Voyez-vous ce qui est représenté ici ? Si ce n'est pas le cas, rendez-vous Figure 5.



Figure 2. Voir et prévoir... pour ajuster ses gestes de tous les jours.

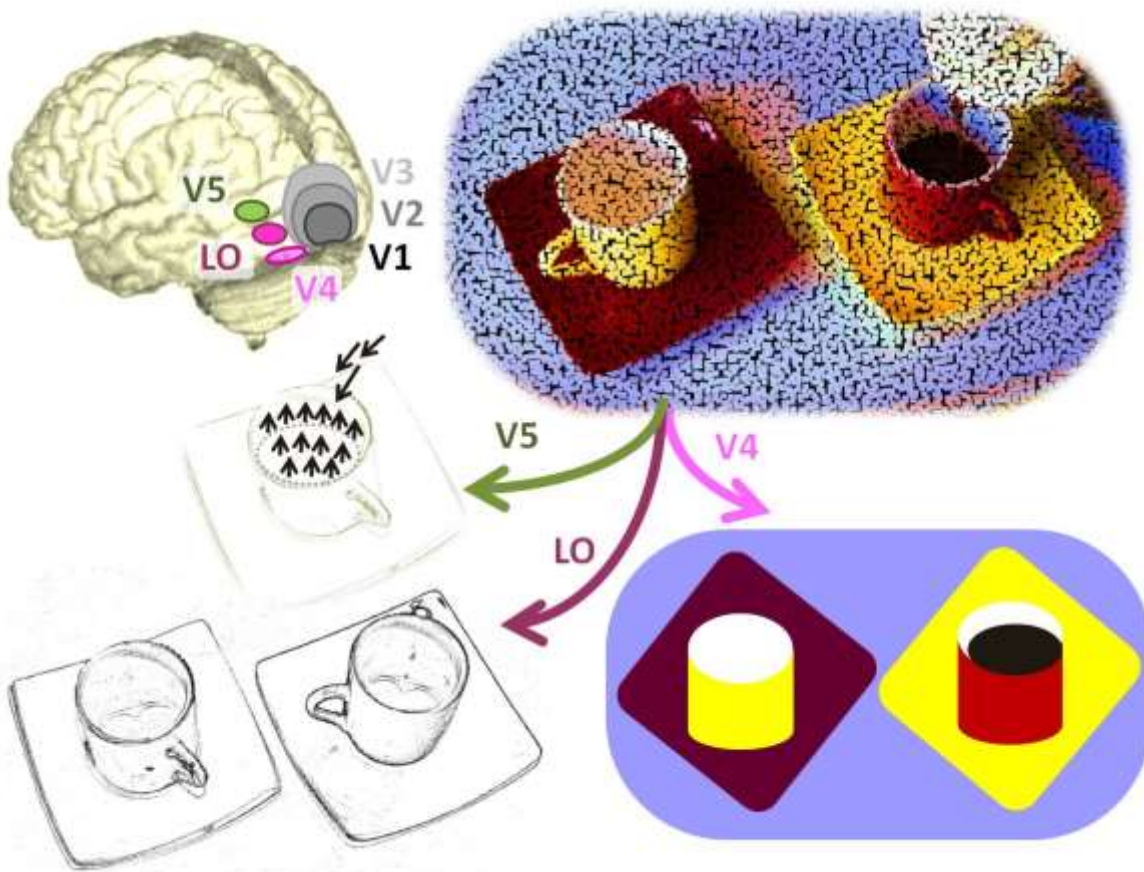


Figure 3. La modularité fonctionnelle du système visuel. Les aires V1 à V3 analysent l'image rétinienne en conservant son organisation spatiale. V4 en extrait des informations de couleur, LO de forme, et V5 de mouvement.

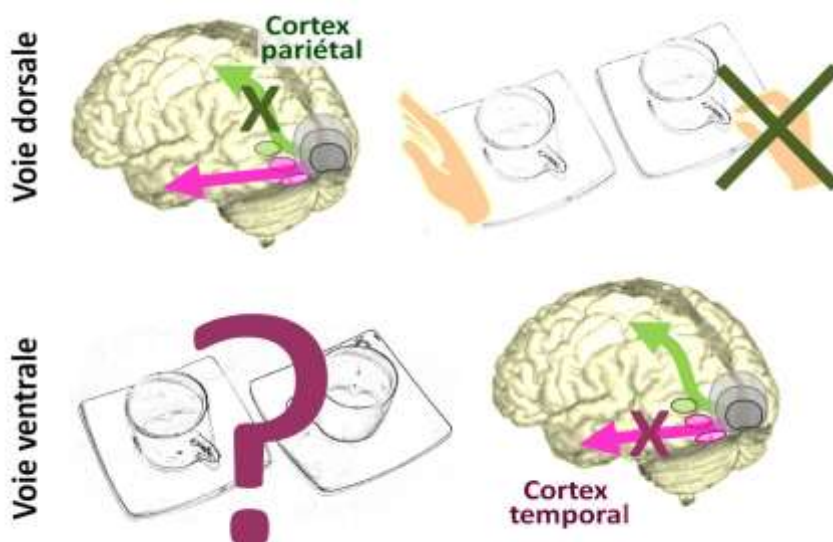


Figure 4. Deux voies de traitement indépendantes ... pour deux fonctions aux contraintes très différentes : « reconnaître » et « agir ». Révélées par l'étude de patients cérébro-lésés, ces fonctions ont été confirmées par l'imagerie fonctionnelle.



Figure 5. *Notre perception est changée par notre connaissance. Une fois compris comment peuvent être interprétées ces taches, impossible de ne plus le voir ! Pour s'en convaincre, rendez-vous page précédente.*

Glossaire :

Akinetopsie Perte de la perception du mouvement. Pathologie très rare qui a été observée chez une patiente présentant des lésions bilatérales autour de l'aire V5. Très handicapante, cette perte du mouvement empêche la personne d'anticiper les déplacements autour d'elle. On peut facilement simuler une akinétopsie en utilisant un éclairage stroboscopique.

Achromatopsie Perte des couleurs. Cette perte peut-être liée à une absence congénitale de cônes dans la rétine, ou faire suite à une lésion autour de l'aire V4, on parle alors d'achromatopsie cérébrale. Dans ce cas, l'achromatopsie peut ne toucher qu'un hémichamp visuel, celui opposé à l'hémisphère lésé. Les patients ne perdent pas seulement la sensation des couleurs mais aussi leur capacité à les imaginer.

Cécité corticale Perte de la vision consciente. Généralement causée par une lésion du cortex visuel primaire (V1).

Champ visuel Notre champ visuel est l'espace extérieur accessible à notre vision ; il est mesuré comme un angle et fait environ 180°, ce qui permet de voir l'intégralité du tableau sur lequel on écrit mais ne permet pas de voir ce qui se passe dans notre dos. On appelle hémichamps les moitiés de champ visuel situées de part et d'autre du point de fixation (haut et bas, ou gauche et droit).

Champ récepteurs A l'échelle des neurones, on parle de champs récepteurs (le champ visuel du neurone..). Il s'agit de la portion d'espace dans laquelle doit se trouver une stimulation visuelle pour entraîner une activité du neurone. Les tailles et formes des champs récepteurs varient selon du type de neurone (sa fonction et donc sa localisation dans le cerveau)

Disparité binoculaire différence d'image entre l'oeil droit et l'oeil gauche. En une région du champ visuel, il existe une différence entre l'image reçue par l'oeil gauche et celle reçue par l'oeil droit si l'objet présent est situé en avant ou en arrière du point que l'on fixe. C'est cette différence qui permet de reconstruire l'information de relief et de profondeur. C'est en créant artificiellement cette différence que l'on peut créer des contenus dits « 3D » au cinéma, à la télévision ou dans les jeux vidéos.

Modularité fonctionnelle Caractéristique cérébrale applicable en particulier au système visuel, correspond au fait que chaque fonction (analyse de la couleur, du mouvement, de la profondeur, etc.) est effectuée par une région spécialisée du cerveau (un module fonctionnel).

Éléments de frise chronologique

Antiquité: de Pythagore (580-504 av JC) à Ptolémé (90-168 av JC) la vision est considérée comme le résultat d'une action de l'œil sur les objets (cf. palpation par la main...). Démocrite (460 av JC) pense que les images sont formées de corpuscules matériels émis par les objets l'objet sur l'œil. Galien (131-201) considère que la pupille est trop petite pour recevoir l'image de gros objets.

Ibn al-Haytham (965, Irak) propose une théorie de la lumière et de la vision, précisant que la lumière voyage de l'objet vers l'œil et non l'inverse

(XIIIème) Invention des lunettes/systèmes optiques de correction. cf. traité de conduite de la famille de Sandro di Popozo, 1299 : « Je suis si altéré par l'âge que sans ces lentilles appelées lunettes, je ne serais plus capable de lire ou d'écrire. Elles ont été inventées récemment pour le bénéfice des pauvres gens âgés dont la vue est devenue mauvaise. »

Au quinzième siècle, les verres concaves, correcteurs de myopie apparaissent, s'ajoutant aux verres biconvexes.

XIXème En 1832, Charles Wheatstone étudie des moyens pour observer les dessins en relief, et fait breveter son "stéréoscope" en 1838.

Munk (1881), par des lésions, identifie le lobe occipital comme étant le siège de la vision chez les chiens et les singes.

Henschen (1893) identifie la scissure calcarine comme étant le siège de la vision chez l'homme grâce à l'étude de cas de plus de 160 patients ayant perdu la vue.

Inouye (1909) et Holmes (1918) étudient des soldats ayant reçu des blessures par balle à la tête et établissent une première cartographie détaillée de la représentation rétinotopique de l'espace dans V1.

David Hubel et Torsten Wiesel reçoivent en 1981 le Prix Nobel de physiologie pour « leurs découvertes concernant le traitement de l'information dans le système visuel »