BrienHoldenVisionInstitute

SENSIBILITÉ ABSOLUE DE L'OEIL HUMAIN

AUTEUR

Thomas Salmon: Northeastern State University, États-Unis

RÉVISION PAR LES PAIRS

Scott Steinman: Southern California College of Optometry, États-Unis

CE CHAPITRE INCLUT UNE RÉVISION DE:

- La célèbre expérience de Hecht, Schlaer & Pirenne
- Adaptation à l'obscurité
- Sensibilité à travers le champ visuel
- Expériences et résultats

LA CÉLÈBRE EXPÉRIENCE DE HECHT, SCHLAER & PIRENNE

En 1942, trois scientifiques, nommés Hecht, Schlaer & Pirenne, ont réalisé une expérience célèbre afin de pouvoir répondre à la question suivante (Cornsweet, 1970) :

- Dans des conditions idéales, quelle est la plus petite quantité de lumière que l'oeil humain puisse détecter?

En d'autres mots, ils voulaient mesurer la sensibilité absolue de l'oeil humain. Il sera question de revoir cette expérience classique, car leur découverte fut étonnante. De plus, cela est une bonne opportunité d'étudier les principes de base que les scientifiques et les cliniciens doivent prendre en considération lorsqu'ils testent la vision. (Schwartz, 2004 fait mention brièvement de cette expérience dans le chapitre 3, page 30).

Cette expérience peut sembler plutôt simple et banale à première vue. Nous devrions être capable de mesurer la plus petite lumière perceptible par l'œil humain en montrant à un sujet une lumière et en diminuant l'intensité de cette dernière jusqu'à ce qu'elle ne soit plus visible. Cela me rappelle le commentaire d'un étudiant diplômé lorsque j'étais à l'Université d'Indiana. Il m'a demandé : «Qu'est-ce qui rend l'obtention d'un PhD si difficile? Tout ce que vous avez à faire est de suivre les cours requis, faire quelques expériences, recueillir les données et écrire votre thèse». Il ne lui a pas fallu beaucoup de temps pour découvrir que lorsqu'il s'agit des sciences (si vous le faites correctement), les choses sont **pas mal** plus compliquées que ce que vous pouvez penser!

Une description de l'expérience de Hecht peut sembler simple, mais elle devient rapidement compliquée lorsque les détails de cette dernière sont analysés. En plus de devoir construire un appareil capable de contrôler de façon précise la luminosité, Hecht et al. devaient aussi considérer les éléments suivants dans leur design expérimental :

- Pendant combien de temps le sujet doit-il être adapté à l'obscurité avant de commencer l'expérience?
- Dans quelle partie du champ visuel la lumière doit-elle être présentée?
- Quelle doit être la grosseur de la lumière?
- Combien de temps doit-on la laisser allumée?
- De quelle couleur la lumière testée doit-elle être?

ADAPTATION À L'OBSCURITÉ

Nous savons que l'oeil est beaucoup plus sensible lorsqu'il est dans l'obscurité pendant un moment. Par exemple, si vous entrez dans un théâtre ou une pièce noire lors d'une journée ensoleillée, vous ne pourrez rien voir au début. Par contre, avec le temps, vos yeux s'ajustent à la noirceur et vous commencez à bien voir et ce, même si le niveau de luminosité est plus faible.

Puisqu'ils voulaient mesurer la plus grande sensibilité de l'oeil humain, Hecht et al. ont voulu tester à quel moment l'oeil avait une sensibilité maximale. Par conséquent, il était évident qu'une adaptation à la noirceur était nécessaire.

Un question se pose alors: Pour combien de temps le sujet doit-il rester à l'obscurité avant de commencer l'expérience? Trente minutes? Deux heures? Huit heures? Des données disponibles indiquaient déjà comment la sensibilité de l'oeil augmentait à travers le temps passé à l'obscurité. Ceci s'appelle la **fonction d'adaptation à la noirceur** (Fig. 4-1).

L'adaptation à l'obscurité, ou la capacité d'ajustement à la noirceur, augmente rapidement, mais plafonne après environ trente minutes. C'est pour cette raison que les chercheurs ont décidé d'adapter leurs sujets à l'obscurité pendant au moins quarante minutes.

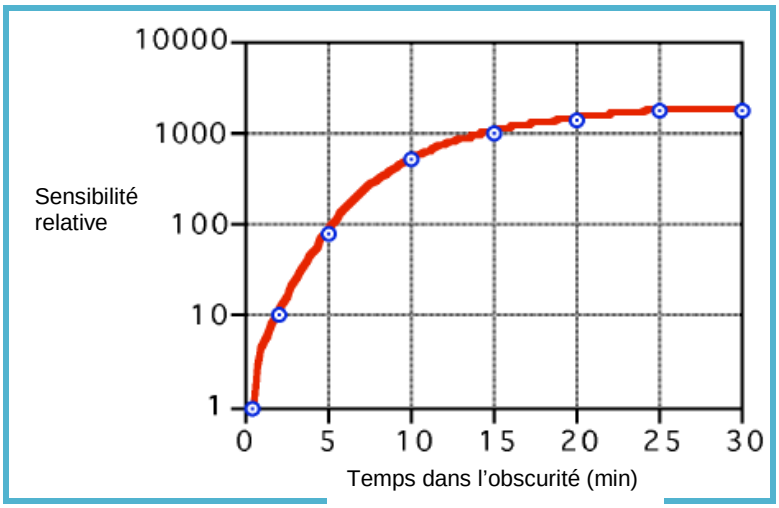

Figure 4-1: *Courbe de l'adaptation à l'obscurité*

SENSIBILITÉ À TRAVERS LE CHAMP VISUEL

L'acuité visuelle varie en fonction des différentes parties de la rétine. La meilleure acuité visuelle est mesurée à la fovéa, endroit où les cônes sont le plus dense. De façon similaire, la sensibilité de l'œil varie d'un endroit à l'autre de la rétine. Ceci varie principalement en fonction de la densité des bâtonnets. Ainsi, Hecht et al. ont décidé de placer la lumière de façon à ce qu'elle se retrouve sur une portion de la rétine où il y a un maximum de bâtonnets. La Figure 4-2 montre la distribution de la densité des bâtonnets selon une coupe horizontale de la rétine.

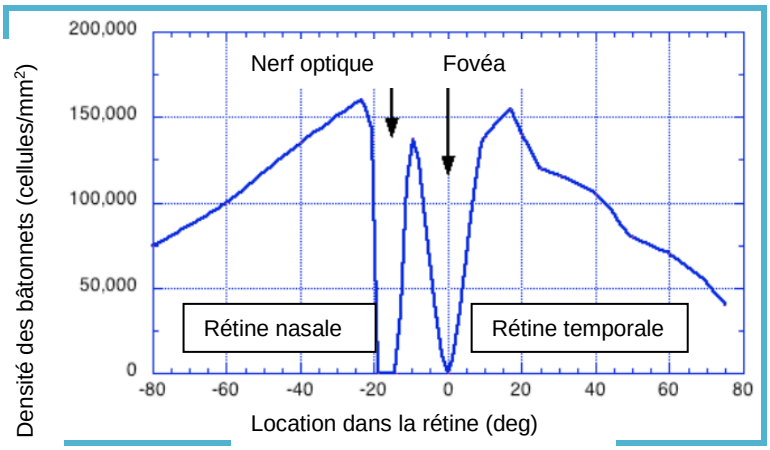

Figure 4-2: *La densité des bâtonnets dans la rétine (modifé à partir de Visual Perception, par Tom Cornsweet p. 11)*

SENSIBILITÉ DANS LE CHAMP VISUEL (CONT.)

La densité des bâtonnets atteint un maximum à environ 15-20° en nasal ou temporal de la fovéa. Hecht a decidé de projeter l'image à un point situé à 20° en temporal de la fovéa. Il a donc positionné la lumière testée de façon à ce qu'elle soit à 20° en nasal d'une lumière de fixation de faible intensité de couleur rouge, tel qu'illustré à la Figure 4-3.

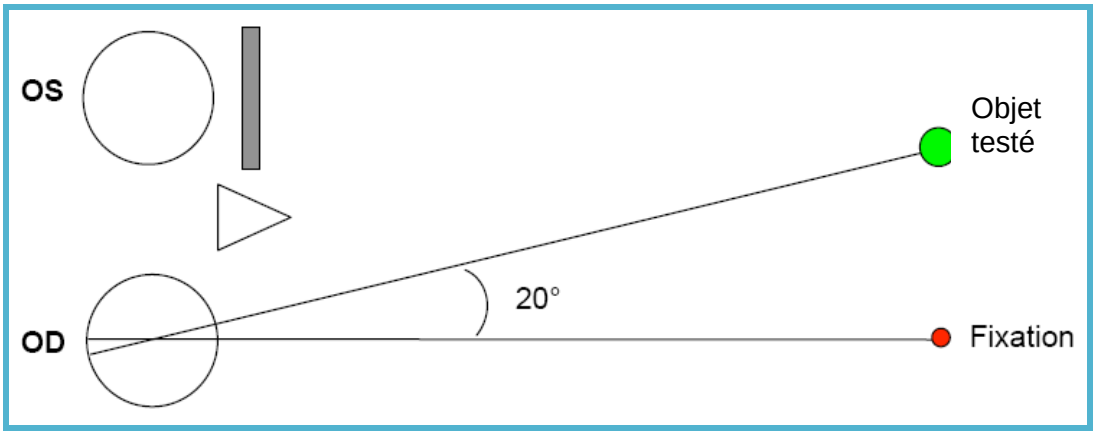

Figure 4-3: *Le stimulus pour l'oeil droit était placé à 20° à gauche du point de fixation de façon à ce que l'image tombe sur la rétine temporale, là où la densité des bâtonnets est maximale*

GROSSEUR DU STIMULUS

Des recherches ont été faites afin de déterminer la relation entre le nombre total de quanta nécessaires et leur taille afin de détecter une lumière. Tant que le point testé avait moins de 10 minutes d'arc de diamètre, la lumière totale requise pour la détection était constante. Au-delà de cette taille, plus de lumière était nécessaire afin de détecter le stimulus. Ceci est lié au phénomène connu sous le nom de sommation spatiale et la loi de Ricco, sujets qui seront abordés plus en détails prochainement. Pour leur expérience, Hecht et son équipe ont décidé d'utiliser 10 minutes d'arc de diamètre, et ce, même si une plus petite lumière aurait également été acceptable.

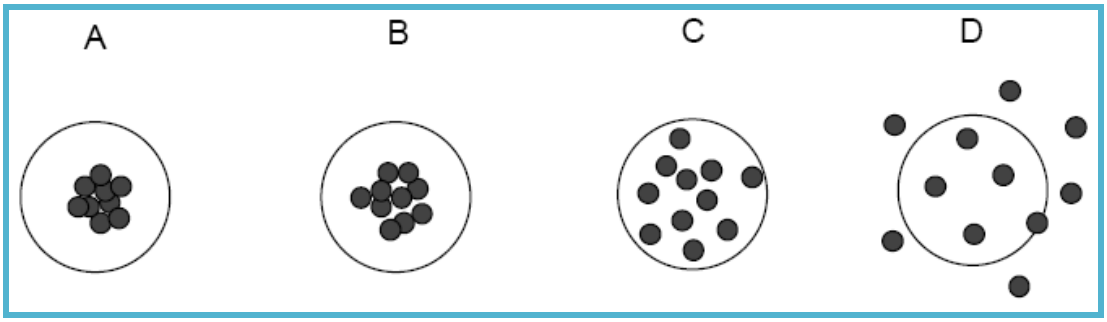

Figure 4-4: *Relation entre le nombre total de quanta nécessaires pour détecter une lumière et sa taille*

Tant que toute la lumière tombait sur un cercle de 10 minutes d'arc de diamètre (A à C), la quantité totale de lumière requise pour la détection importait peu. Les points représentent la distribution des photons. Si la distribution de lumière dépasse le diamètre de 10 minutes d'arc (D), plus de lumière est nécessaire pour la détecter. Ce phénomème sera étudié en détails dans le Chapitre 9.

DURÉE DU STIMULUS

Des tests ont déjà été effectués dans le but d'étudier la relation entre le nombre total de quanta nécéssaires pour la détection et la durée du flash. Tant que la durée du flash était moins que 100 millisecondes (la durée critique prétendue des bâtonnets), le nombre total de quanta requis pour la détection était le même. Pour des durées plus longues, plus de lumière était nécessaire. Ceci est en lien avec la **sommation temporelle** et la **loi de Bloch**, sujets qui seront étudiés plus en détails dans ce module (Chapitre 10). Hecht et al. ont donc sélectionné un flash d'une durée de 1 milliseconde.

SENSIBILITÉ DANS LE CHAMP VISUEL (CONT.)

COULEUR DU STIMULUS

Hecht a mené l'expérience dans les conditions ci-dessus, mais il a utilisé des lumières de différentes longueurs d'onde. Il a mesuré le nombre minimal de quanta nécessaires afin de permettre la détection d'une lumière par un sujet pour différentes longueurs d'onde. Il a trouvé que, dans ces conditions, la sensibilité de l'œil était plus grande à 510nm (vert) (Fig. 4-5).

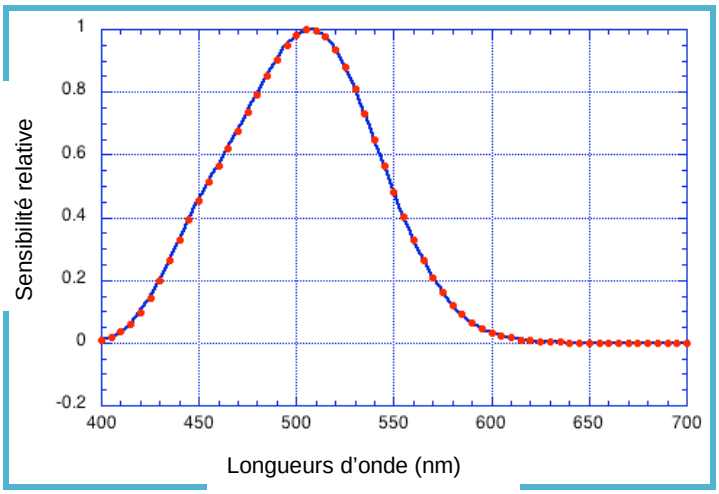

Figure 4-5: *Courbe de sensibilité en fonction de la longueur d'onde, sous des conditions d'adaptation à l'obscurité*

EXPÉRIENCES ET RÉSULTATS

Après avoir travaillé sur ces détails, Hecht a effectué les expériences sous les conditions suivantes:

- Sujets adaptés à l'obscurité pour 40 minutes
- Un oeil occlus, testé de façon monoculaire
- Sujets fixent une petite lumière rouge pâle d'intensité faible
- Stimulus (point de test) localisé 20° en nasal de la fixation
- Diamètre du point de test de 10 minutes d'arc
- Lumière testée clignote pendant 1 milliseconde
- Longueur d'onde de 510 nm (vert)

Quand il était prêt, le sujet devait appuyer sur un bouton et la lumière testée se mettait à clignoter. Il devait alors signaler s'il la voyait. L'intensité de la lumière était réduite jusqu'à ce qu'il ne puisse plus la voir.

Hecht et al. ont déterminé que sous ces conditions, une personne pouvait à peine voir la lumière si seulement 90 quanta étaient présentés juste devant la cornée. Ceci est incroyablement sensible par rapport à tout capteur fait par l'Homme.

Ce résultat mène à une autre question intéressante: «Si au moins 90 quanta doivent pénétrer l'œil pour être visibles, quelle est la quantité minimale de lumière qu'un bâtonnet peut détecter?»

Si 90 quanta doivent être présentés à l'oeil pour être détectés, ceci ne veut pas nécessairement dire que les photorécepteurs rétiniens ont besoin de 90 quanta, car ce n'est pas tous ces 90 photons qui vont atteindre la rétine. La plupart de ces photons incidents sur l'œil n'atteindront jamais les photorécepteurs rétiniens. Hecht et al. ont disposé des 90 photons comme suit:

- Des 90 quanta incidents sur l'oeil,
- Environ 3% sont réflétés sur la cornée
- Environ 47% sont perdus dû à l'absorption par les milieux optiques et les pigments
- Environ 40% tombent entre les batônnets de la rétine et sont absorbés par l'épithélium pigmentaire rétinien.

Ce qui laisse environ 10% de la lumière incidente. Ainsi, seulement 9-10 photons vont effectivement parvenir à la rétine et être absorbés par les bâtonnets.

EXPÉRIENCES ET RÉSULTATS (CONT.)

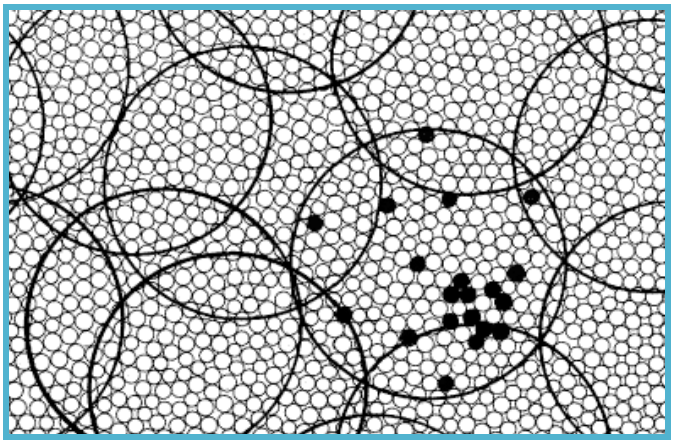

Figure 4-6: *Illustration de quelques photons dispersés à travers une zone de 10 minutes d'arc de la rétine. Les petits cercles blancs représentent des bâtonnets. [De Cornsweet (1970) p. 17]*

Ces 10 photons sont tombés sur une zone de 10 minutes d'arc sur la rétine contenant environ 500 bâtonnets. Si les photons étaient distribués de façon aléatoire, nous pourrions supposer que chaque photon tomberait sur un bâtonnet différent. Hecht et al. ont conclu que si aussi peu que 10 bâtonnets (avec une zone de 10 minutes d'arc) captaient un photon, une personne pourrait détecter la lumière. La conclusion la plus suprenante est présenté par Cornsweet dans la citation suivante :

Ceci signifie qu'un **simple quantum** doit être suffisant afin d'activer un bâtonnet, et que l'effet de l'activation d'une dizaine de bâtonnets proches les uns des autres doit être, d'une certaine façon, additionné par le système visuel. … la trouvaille principale de Hecht et al., qu'un simple quantum est suffisant pour activer un bâtonnet, est fermement établie.

(Cornsweet, T. Visual Perception. Academic Press, New York, 1970. p. 25-26.)

LECTURES RECOMMANDÉES/OUVRAGES DE RÉFÉRENCE

- Schwartz SH. **Visual Perception - A Clinical Orientation, 3rd Edition**. Appleton & Lange, Stamford, Connecticut, 2004
- Cornsweet, T. **Visual Perception. Academic Press**, New York, 1970. Chapitre 2