BrienHoldenVisionInstitute

INTRODUCTION À LA VISION DES COULEURS

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:

- Théorie trichromate de la vision des couleurs
- Métamères et les lois de Grassman

INTRODUCTION

Jusqu'à présent, nous avons étudié entre autres l'adaptation visuelle, la vision spatiale, la vision temporelle et la perception du mouvement. Nous allons maintenant aborder le sujet de la vision des couleurs. Nous allons suivre le matériel présenté dans les chapitres 5 et 6 de Schwartz, 2004. Les sujets majeurs sont:

- La théorie trichromate de la vision des couleurs
- Les phénomènes associés avec la vision des couleurs
- Les systèmes de spécification des couleurs
- Les anomalies de la vision des couleurs
- L'examen de la vision des couleurs

POURQUOI DEVRAIT-ON ÉTUDIER LA VISION DES COULEURS?

- La vision des couleurs est un des plus importants aspects de la vision.
- Nous pouvons évaluer la vision des couleurs de nos patients afin de déterminer s'ils sont admissibles à certaines occupations.
- Nous avons besoin d'une certaine connaissance de la vision des couleurs afin de diagnostiquer des anomalies de celle-ci (daltonisme, etc.).
- Un examen de la vision des couleurs aide à diagnostiquer certaines maladies tel que la névrite optique ou la toxicité causée par le Plaquenil.

THÉORIE TRICHROMATE DE LA VISION DES COULEURS

Vous savez déjà que la couleur est reliée à la longueur d'onde de la lumière. Comment notre système visuel distingue-t-il entre ces différentes longueurs d'ondes?

Dans le passé, les personnes pensaient que nous percevons les différentes couleurs grâce à des photorécepteurs spécialisés pour chaque couleur.
Par exemple, si une personne regardait les feuilles d'un arbre durant l'automne, l'image rétinienne des feuilles rouges stimulerait les récepteurs rouges, les feuilles jaunes stimuleraient les récepteurs jaunes, les feuilles oranges stimuleraient les récepteurs oranges, les feuilles vertes stimuleraient les récepteurs verts et ainsi de suite pour chaque couleur.

Q. Quelles sont les lacunes de cette théorie?

A. _____

En 1802, le fameux chercheur Thomas Young a proposé une théorie de la perception des couleurs qui nécessitait seulement trois types de récepteurs des couleurs. Celle-ci est connue comme étant la **théorie trichromate** de la vision des couleurs. Voici un extrait de la page 90 de Schwartz qui cite Young:

> *Puisqu'il est presqu'impossible de concevoir que chaque portion de la rétine contient un nombre infini de particules, chacune capable de vibrer parfaitement en unisson, avec chaque ondulation possible, il devient nécessaire de supposer que le nombre est limité, par exemple, à trois couleurs principales... et que chacune des particules est capable d'être mise en mouvement par des ondulations qui diffèrent plus ou moins d'un unisson parfait. Chaque filament sensible des neurones peut consister en trois portions, une pour chaque couleur principale.*

MONOCHROMATISME

Afin de comprendre la vision des couleurs trichromate, nous allons commencer en considérant quelle serait la discrimination des longueurs d'ondes s'il y avait seulement une classe de photorécepteurs rétiniens, comme les bâtonnets. Ceci est le cas pour les personnes qui ont une anomalie héréditaire de la vision des couleurs, appelée l'achromatopsie ou monochromatisme des bâtonnets. Si on présente deux stimuli avec des longueurs d'ondes différentes, est-ce qu'un **monochromate des bâtonnets** pourrait les distinguer en se basant uniquement sur les longueurs d'onde?

Les photopigments ont un spectre d'absorption tel que démontré dans la Fig. 5-1 de Schwartz. Les différents pigments absorbent la lumière différemment. Donc, comment un patient avec seulement un photopigment (dans un type de photorécepteur) pourrait-il discriminer entre deux différentes longueurs d'onde (λa, λb)?

Dans la Figure 5-2, vous pouvez voir que si deux stimuli (λa, λb) ont le même rayonnement, la luminosité relative des deux lumières serait différente basée sur la différence entre l'absorption qui dépend de la longueur d'onde. Si les deux lumières émettent 100 quanta, le récepteur absorbera 25 quanta dans le cas de λa, mais 50 quanta pour λb. Les deux lumières paraitront différentes en raison de la différente perception de la luminosité.

Remarquez qu'un photorécepteur ne transmet pas d'information spécifique en ce qui concerne la longueur d'onde. Il absorbe tout simplement la lumière et envoie un signal électrique. Quoique la probabilité d'absorber la lumière varie en fonction de la longueur d'onde, une fois que la lumière est absorbée, il y a seulement une réponse — l'excitation neuronale. Ceci est connu comme le **principe de l'univariance**.

Si vous doublez le rayonnement de λa, elle semblerait avoir la même luminosité que λb (Fig. 5-2). Dans ce cas, l'excitation neuronale pour les deux lumières deviendrait égale et le cortex visuel recevrait le même signal par les deux, en dépit du fait qu'elles ont des longueurs d'onde différentes.

Pour un monochromate, il serait toujours possible d'égaliser deux lumières de longueurs d'onde différentes en ajustant leur intensité relative. En d'autres mots, il est possible de convaincre un monochromate que deux longueurs d'onde différentes ont la même couleur en ajustant leur rayonnement relatif.

Ceci veut dire qu'un monochromate ne peut distinguer entre deux longueurs d'onde basé uniquement sur la différence entre celles-ci. Les monochromates sont donc daltoniens, puisqu'ils ne peuvent discriminer entre différentes longueurs d'onde.

THÉORIE TRICHROMATE DE LA VISION DES COULEURS (SUITE)

DICHROMATISME

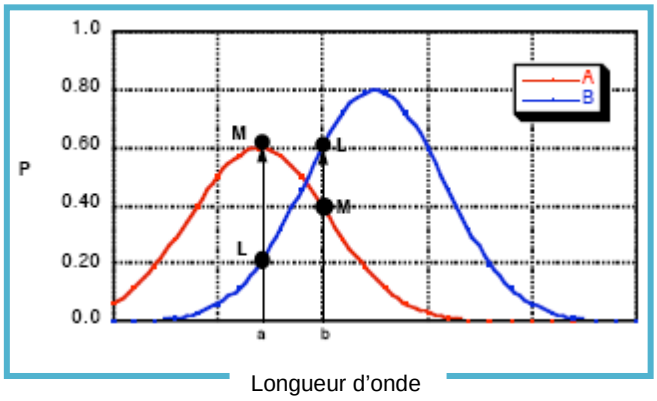

Figure 21-1: *Appariement des couleurs pour un dichromate ayant deux types de photorécepteurs*

Si la rétine a deux différents photopigments (M et L dans la Figure 21-1; Schwartz Fig. 5-4), avec des spectres d'absorption légèrement différents, serait-il possible de distinguer entre deux différentes longueurs d'onde si on se base sur la longueur d'onde uniquement?

Montrez deux lumières au sujet, une avec λ_a et l'autre avec λ_b. Pour vérifier s'il peut distinguer entre les deux longueurs d'onde,demander au patient d'ajuster les intensités relatives des deux lumières afin de les égaliser.
Si le patient réussit à les égaliser, il/elle ne peut pas discriminer entre des longueurs d'onde basé uniquement sur l'information qui provient des longueurs d'onde. Si le patient ne peut pas les égaliser, cela signifie que les lumières apparaissent différentes quelles que soient les intensités relatives. Ceci indique que le patient peut discriminer entre ces deux longueurs d'onde basé uniquement sur celles-ci.

Dans l'exemple présenté dans la Fig. 21-1 et dans la Fig. 5-4 de Schwartz, le spectre d'absorption des deux photopigments sont différents mais ont des distributions qui se superposent. Référez-vous au tableau de la Fig. 5-4 de Schwartz. Si la luminance des deux lumières est ajustée à 100, le signal émis par la rétine pour ces deux lumières sera différent. Pour λ_a la réponse neuronale sera basée sur 60 absorptions quantiques par le récepteur M + 20 absorptions quantiques par le récepteur L (60M + 20L). Pour λ_b , la réponse sera 40M + 60L. Ceci est illustré dans la Fig. 5-4 de Schwartz.

Q. Est-ce possible d'ajuster les luminances de deux lumières afin que le signal des cônes M et L soit pareil pour les deux lumières?

A. _____

Quelle que soit la manière dont vous essayez d'ajuster les intensités des deux lumières, les signaux combinés émis par les cônes L et M seront toujours différents pour les deux longueurs d'onde examinées.

- Pour λ_a, la réponse M sera toujours plus grande et la réponse L sera toujours plus petite
- Pour λ_b, la réponse M sera toujours plus petite et la réponse L sera toujours plus grande

Un dichromate ne sera jamais capable d'égaliser deux lumières en utilisant *deux* longueurs d'onde. Vous ne pouvez pas le convaincre que deux longueurs d'onde sont pareilles, donc il est meilleur à discriminer des longueurs d'onde qu'un patient monochromate. Ceci est dû à la présence d'un photopigment additionnel.

Rajouter une autre longueur d'onde

Nous allons continuer à investiguer la discrimination des longueurs d'onde chez un dichromate en considérant l'expérience illustrée dans la Fig. 5-5 de Schwartz. Présentez deux lumières, mais cette fois-ci la lumière à gauche contient un mélange de deux longueurs d'ondes (λ_a et λ_c).
En variant le mélange de ces deux longueurs d'onde, serait-il possible de les faire ressembler à une troisième longueur d'onde (λ_b)?

THÉORIE TRICHROMATE DE LA VISION DES COULEURS (SUITE)

Notez que λ_a stimule habituellement les cônes M fortement et les cônes L légèrement. λ_c stimule les cônes L fortement et les cônes M moindrement. En ajustant la combinaison de λ_a et λ_c,vous pouvez apparier l'émission des cônes M et L avec celui des cônes M et L pour λ_b uniquement. La lumière qui contient λ_a et λ_c paraitra identique à λ_b, pour le sujet. Deux stimuli qui contiennent différentes longueurs d'onde, mais qui semblent identiques s'appellent des **métamères**.

Les dichromates peuvent donc discriminer entre des longueurs d'onde, mais d'une manière imparfaite. Ils peuvent se tromper en pensant qu'un mélange de deux longueurs d'onde est semblable à une troisième longueur d'onde. C'est à dire que deux lumières peuvent être appariées avec un mélange adéquat de trois longueurs d'onde.

TRICHROMATISME

Un trichromate possède un niveau de discrimination entre les longueurs d'onde supérieur à celui d'un dichromate car il/elle a trois photopigments (dans trois types de cônes). La figure 21-2 démontre le spectre d'absorption pour les photopigments contenus dans les trois cônes humains. Les cônes sont de type S, M et L à cause de leur sensitivité maximale dans les étendues des longueurs d'onde courtes, moyennes et longues respectivement. Le tableau 21-1 donne un sommaire de certaines caractéristiques de ces trois photopigments.

Tableau 21-1: *Trois types de cônes humains et les caractéristiques de leurs photopigments*

TYPE DE CÔNE	PHOTOPIGMENT	SENSIBILITÉ MAX. (NM)	ÉTENDUE (NM)
S	Cyanolabe	426	~400-530+
M	Chlorolabe	530	~400-680+
L	Érythrolabe	552 ou 557	~400-700+

Dans le passé, les trois photopigments s'appelaient les photopigments bleu, vert et rouge, mais cela peut donner l'impression erronée que chaque photopigment absorbe uniquement une longueur d'onde. *Notez que chaque photopigment absorbe la lumière provenant d'une étendue de longueurs d'onde et qu'il y a de la superposition*. Tous les trois photopigments ont un spectre d'absorption qui chevauche une certaine étendue de longueurs d'onde (en dessous d'environ 545 nm).

Q. Combien de types de cônes sont disponibles pour absorber les longueurs d'onde au-dessus de 545 nm?

A. _____

Le trichromate ne se trompe pas comme le dichromate. Un trichromate n'apparierait jamais deux lumières avec trois longueurs d'onde. Il sera toujours capable de distinguer entre la lumière qui contient deux longueurs d'onde et l'autre lumière.

Par contre, si une quatrième longueur d'onde (λ_d) est ajoutée, il serait possible d'obtenir une équivalence métamérique pour un trichromate. Cela veut dire que quatre longueurs d'ondes divisées entre deux lumières peuvent être mélangées afin d'avoir l'air pareilles, quoiqu'elles soient différentes.

THÉORIE TRICHROMATE DE LA VISION DES COULEURS (SUITE)

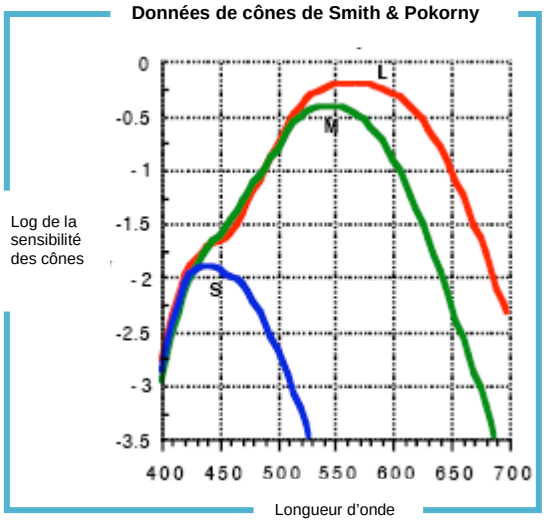

Figure 21-2: *Spectre d'absorption des cônes S, M et L.*

TÉTRACHROMATISME

Quelques chercheurs suggèrent que les bâtonnets peuvent aussi contribuer à la perception des couleurs. Si cela était vrai, on aurait un système tétrachromate. Tel que résumé dans le tableau 21-2, si une personne recevait un signal par l'entremise de quatre photorécepteurs (un tétrachromate), il/elle aurait une discrimination supérieure des longueurs d'onde qu'un trichromate. Il/elle serait toujours capable de discriminer entre deux lumières qui contiennent n'importe quelle combinaison de quatre longueurs d'onde. Par contre, il/elle pourrait atteindre un appariement métamérique lorsque cinq longueurs d'onde différentes seraient présentes.

Tableau 21-2: *Principes d'appariement des couleurs*

Condition	Nombre de Photopigments	Nombre minimal de λs pour le métamère
Monochromate	1	2
Dichromate	2	3
Trichromate	3	4
Tétrachromate	4	5

MÉTAMÈRES ET LES LOIS DE GRASSMAN

Des expériences d'appariement des couleurs ont été utilisées afin d'étudier la perception des couleurs. Il est généralement accepté que les humains ont un système trichromate grâce aux cônes S, M et L. Les **métamères** sont des paires de stimuli qui peuvent être appariés en dépit du fait qu'ils sont composés de longueurs d'ondes différentes. Les **lois de Grassman** résument quelques principes de l'appariement métamérique des couleurs:

Propriété additive des métamères – Si la même longueur d'onde est rajoutée à deux métamères, ils demeurent des métamères (Schwartz Fig. 5-8, haut)

Propriété scalaire des métamères – Si vous multipliez l'intensité de deux métamères par le même facteur, ils demeurent des métamères (Fig. 5-8, centre)

Propriété associative des métamères – Les métamères peuvent être substitués par d'autres mélanges et la perception de la couleur restera pareille (Fig. 5-8, bas)

LECTURES RECOMMANDÉES/OUVRAGES DE RÉFÉRENCE

- Schwartz SH. **Visual Perception - A Clinical Orientation, 3rd Edition**. Appleton & Lange, Stamford, Connecticut, 2004