

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

DÉTERMINANTS DÉVELOPPEMENTAUX DE LA PERCEPTION DE LA COULEUR
CHEZ LES JEUNES ADOLESCENTS

THÈSE DE SPÉCIALISATION
PRÉSENTÉE COMME EXIGENCE PARTIELLE
DU BACCALAURÉAT EN PSYCHOLOGIE
PROFIL HONOURS

PAR
MATHILDE CHAMPAGNE-HAMEL

SOUS LA SUPERVISION DE
DAVE SAINT-AMOUR

22 AVRIL 2020

Résumé

Les processus de maturation des cônes dans la rétine et des aires visuelles débutent durant la période prénatale et se poursuivent jusqu'à l'adolescence. Bien que plusieurs études se soient intéressées au développement des fonctions visuelles, peu d'entre elles se sont penchées sur les déterminants pouvant influencer la maturation de la vision des couleurs. L'objectif de ce projet de recherche est donc de caractériser les effets de principaux déterminants développementaux et sociodémographiques sur la maturation de la vision des couleurs au début de l'adolescence. Pour ce faire, les relations entre la performance à une tâche informatisée évaluant les seuils de perception des couleurs administrée à plus de 500 enfants d'environ 12 ans et diverses variables développementales collectées depuis la naissance, soit à la période périnatale, à l'âge de 6 ans et à l'âge de 12 ans ont été évaluées. Les résultats obtenus montrent que plusieurs déterminants développementaux semblent influencer les seuils de perception chromatique à l'adolescence et donc les processus de maturation de la vision des couleurs. Cependant, l'impossibilité de prendre en compte l'ensemble des déterminants du développement dans les analyses ainsi qu'un nombre important de données manquantes viennent nuancer la signification des résultats obtenus.

Table des matières

Résumé	2
Liste des tableaux	4
Liste des figures	4
Remerciements	5
Introduction	6
Problématique.....	6
Contexte théorique	7
Objectif et hypothèse	12
Méthodologie	12
Participants	12
Procédures	12
Instruments	13
Analyses	15
Résultats	16
Analyses de corrélations.....	16
Analyses linéaires hiérarchiques	17
Comparaison entre les groupes.....	20
Discussion	20
Limites et suggestions	24
Conclusion	25
Bibliographie	26
Tableaux	30
Figures	34
ANNEXES	37
ANNEXE I – Questionnaire pour le groupe contrôle	37
ANNEXE II - Lettre d’approbation du comité d’éthique.....	38

Liste des tableaux

Tableau 1	30
Tableau 2	31
Tableau 3	32
Tableau 4	33
Tableau 5	33

Liste des figures

Figure 1	34
Figure 2	34
Figure 3	35
Figure 4	35
Figure 5	36

Remerciements

Je tiens d'abord à remercier les participants qui se sont déplacés au laboratoire pour cette recherche ainsi que tous ceux qui m'ont aidé dans le recrutement. Je voudrais également remercier mon directeur de recherche qui m'a donné la chance de réaliser mon tout premier projet de recherche. Je le remercie de m'avoir guidé à travers chaque étape de cette réalisation en faisant preuve d'une grande générosité. Pour finir, je voudrais remercier chacune des personnes qui ont pris le temps de me conseiller et de me lire tout au long de la dernière année.

Introduction

Problématique

La composition moléculaire et structurelle des objets leur permet de réfléchir différentes longueurs d'onde de la lumière. Ce sont ces mêmes longueurs d'onde qui, une fois captées par le système visuel, nous permettent de percevoir les couleurs du monde qui nous entoure. La vision de la couleur permet notamment à l'humain de discriminer des objets ayant la même forme et la même taille. Les mécanismes sous-jacents à la perception de la couleur débutent dans les cellules de la rétine et prennent fin dans les aires associatives du cortex visuel. Bien qu'ils aient entamé leur développement avant la naissance, plusieurs de ces mécanismes de traitement de l'information chromatique ne parviennent pas à la maturité avant la période pubertaire (Crognale, 2002). La perception de la couleur n'est donc pas au point chez l'humain avant l'adolescence et plusieurs études affirment même que les seuils de vision chromatique matures ne sont pas atteints avant l'âge adulte (Paramei & Oakley, 2014).

La maturation du système visuel est influencée par l'environnement périnatal et postnatal dans lequel l'enfant se développe. Il a été montré à plusieurs reprises que de nombreux facteurs comme les nutriments présents dans le lait maternel ou l'activité physique durant l'enfance pouvaient moduler le processus de développement des structures du système visuel et ainsi influencer sur la vision (Gopinath & al., 2011; Hoffman, Boettcher, & Diersen-Schade, 2009). Cependant, peu d'études se sont penchées sur les déterminants développementaux de la maturation de la perception des couleurs. Le présent projet de recherche vise donc à mieux comprendre les effets des déterminants développementaux sur la perception chromatique de jeunes adolescents.

Contexte théorique

La couleur perçue n'est pas une propriété physique de l'environnement, mais plutôt une création de notre cerveau. Les informations visuelles permettant l'expérience chromatique proviennent des ondes électromagnétiques émises par des sources lumineuses ou réfléchies par la surface des objets. L'humain n'est capable de percevoir qu'une faible partie du spectre électromagnétique : les longueurs d'onde variant entre 400 et 700 nm qui composent la lumière visible (Wolfe & al., 2006).

Les processus de traitement de l'information chromatique débutent dans la rétine où les cônes, des photorécepteurs sensibles à la lumière, convertissent les radiations électromagnétiques en signaux nerveux (Delorme & Fluckiger, 2003). L'œil humain comporte trois sous-types de cônes qui se différencient par les photopigments qui les composent. Ces photopigments permettent aux cônes d'avoir chacun une courbe de sensibilité spectrale différente. On retrouve donc un premier type de cône (S ou bleu) plus sensible aux longueurs d'onde courtes (426 nm), un deuxième (M ou vert) sensible aux longueurs d'onde moyennes (530 nm) et un troisième (L ou rouge) sensible aux longueurs d'onde longues (557 nm) (voir Figure 1) (Bear, Connors, & Paradiso, 2016). Il existe toutefois un chevauchement entre les courbes de sensibilité spectrale de chacun des cônes, car ceux-ci sont activés par une vaste étendue de longueurs d'onde sur le spectre électromagnétique. La couleur perçue est donc déterminée par le rapport de l'activation des sous-types de cônes (Delorme & Fluckiger, 2003).

Dans le système visuel, l'information est traitée simultanément par des voies différentes selon son contenu (mouvement, taille de l'objet, contraste chromatique et achromatique, etc.). L'information relative à la perception des couleurs (information chromatique) telle que la longueur des ondes perçues est traitée par les cellules du canal parvocellulaire-intertâches et du canal des tâches (*blobs*). L'information chromatique captée par les photorécepteurs de la rétine est acheminée vers les cellules ganglionnaires de type P et non-P, non-M de la rétine puis vers les cellules du corps genouillé latéral du thalamus (CGL) (Bear & al., 2016). Ces cellules ganglionnaires sont sensibles aux différentes longueurs d'onde de la lumière et correspondent à des cellules à opposition simple de couleur (Delorme & Fluckiger, 2003). Leur organisation permet qu'une réponse à une longueur d'onde donnée du centre du champ récepteur soit inhibée par la réponse de la périphérie du champ récepteur à une autre longueur d'onde (Delorme &

Fluckiger, 2003). On retrouve quatre types de cellules ganglionnaires à opposition simple de couleur : un premier type de cellule est excitée par le rouge et inhibée par le vert (R+/V -), un deuxième type de cellule est excitée par le vert et inhibée par le rouge (V+/R-) et on retrouve le même patron de réponse chez les cellules sensibles au bleu et au jaune (B+/J- et J+/B -) (voir Figure 2)(Hubel & Wiesel, 1977). Les informations chromatiques correspondant à chacun des sous-types de cellules ganglionnaires restent ségréguées à leur arrivée dans le CGL. En effet, des cellules possédant une organisation à opposition simple de couleur se retrouvent également dans les couches parvocellulaires et coniocellulaires du CGL (Bear & al., 2016).

Le cortex visuel primaire, aussi appelé cortex strié, est organisé selon différentes couches de corps cellulaires qui semblent refléter la ségrégation des neurones des voies de traitement parallèle de l'information visuelle présente dans le CGL (voir Figure 3). Bien qu'il existe un certain degré de chevauchement entre les voies, les axones parvocellulaires du CGL vont majoritairement projeter dans la couche $IVC\beta$ du cortex strié qui va innover à son tour les couches II et III des régions intertaches. Les neurones coniocellulaires du CGL vont pour leur part projeter dans les couches II et III de la zone des taches du cortex strié. Les neurones de la zone des taches sont sensibles aux stimulations lumineuses de différentes longueurs d'onde (Bear & al., 2016). On retrouve parmi ceux-ci des cellules à opposition simple de couleur, mais également des cellules à double opposition de couleur. Ces cellules sélectives à la couleur vont permettre notamment de discriminer des couleurs intermédiaires comme l'orange ou le violet (Mausfeld & Heyer, 2003).

Au-delà du cortex strié, plusieurs aires corticales sont impliquées dans le traitement de l'information visuelle (voir Figure 4). Ces aires peuvent être divisées selon deux systèmes corticaux : le système ventral et le système dorsal. Bien que les deux systèmes reçoivent des afférences de chacune des voies parallèles de traitement de l'information visuelle, le système ventral est davantage engagé dans la perception des couleurs (Bear & al., 2016). Celui-ci s'étend ventralement du cortex strié vers le lobe temporal. L'information visuelle est transmise de la zone des taches et de la zone intertaches vers l'aire V4 en passant par l'aire V2. On retrouve dans les neurones de l'aire V4 des champs récepteurs plus larges et plus complexes que ceux présents dans l'aire visuelle primaire. Plusieurs de ces champs récepteurs sont sensibles à l'orientation ainsi qu'à la couleur (Bear & al., 2016). Cette aire joue un rôle important dans la reconnaissance

de la forme et de la couleur et est impliquée dans le processus de constance de la couleur qui permet à un individu de percevoir la même couleur, peu importe les conditions d'éclairage (McKeefry & Zeki, 1997). L'information en provenance de l'aire V4 est ensuite projetée dans l'aire IT qui est sensible aux processus de mémoire visuelle et de perception de la couleur. D'autres aires extrastriées pourraient être importantes dans le traitement de la stimulation chromatique, mais celles-ci sont encore peu connues (Bear & al., 2016). Le traitement de l'information chromatique devient plus complexe à mesure que l'on se rapproche des mécanismes corticaux entourant les aires visuelles spécialisées. C'est cette organisation hiérarchique du traitement de l'information visuelle à partir des photorécepteurs de la rétine jusqu'aux champs récepteurs sélectifs des aires extrastriées qui permet finalement de percevoir la couleur dans toutes ses nuances.

Toutefois, les structures du système visuel permettant le traitement de l'information chromatique ne sont pas matures dès la naissance. Plusieurs études ont montré que les seuils de perception de la couleur des nouveau-nés sont beaucoup plus élevés que ceux des adultes. Cette différence s'estompe toutefois considérablement dans les premières semaines de vie et plusieurs enfants sont capables de discriminer des stimuli chromatiques dès l'âge de 3 mois (Crognale, 2002). La vision chromatique continue de subir des changements fulgurants au cours de la première année de vie alors que les seuils atteignent des valeurs qui se rapprochent de celles des adultes. Cependant, la vision chromatique n'atteint pas la maturité avant l'adolescence (Knoblauch, Vital-Durand, & Barbur, 2001).

Les capacités de discrimination de la couleur sont d'abord limitées par le développement des photorécepteurs de la rétine. Effectivement, bien que ceux-ci démontrent une sensibilité aux stimuli chromatiques dès les 4 à 8 premières semaines, les cônes parviennent à maturité seulement vers l'âge de 4 ans (Crognale, 2002). Le processus de myélinisation du nerf optique qui fait référence à la formation de la gaine de myéline sur les fibres nerveuses favorisant la rapidité de propagation des impulsions nerveuses le long de l'axone, débute avant la naissance et se poursuit jusqu'à l'âge de 2 ans (Magoon & Robb, 1981). Au niveau cortical, la création de synapses entre les neurones commence après 25 semaines de gestation et s'étend à la deuxième année de vie. La myélinisation du cortex visuel est amorcée parallèlement à la synaptogenèse, mais perdure jusqu'à l'adolescence dans certaines aires visuelles associatives. Ces deux

processus se déroulent plus tôt dans les aires visuelles primaires du cortex que dans les aires associatives (Braun, 2000).

Au cours de cette période de développement, plusieurs facteurs peuvent influencer sur la maturation des structures visuelles. De nombreuses études se sont intéressées aux effets de ces déterminants développementaux sur la fonction visuelle.

Prématurité

Le système visuel se développe considérablement entre la 28^e et la 40^e semaine de grossesse (Molloy & al., 2013). Pour les enfants nés prématurément, ce développement doit se poursuivre à l'extérieur de l'environnement intra-utérin riche en nutriments où le système visuel est soumis plus rapidement aux stimulations visuelles externes. Ces enfants sont également plus à risque de développer certaines conditions médicales qui peuvent avoir des effets délétères sur la fonction visuelle, comme la rétinopathie du prématuré (Birch & O'Connor, 2001).

Plusieurs études examinant la sensibilité chromatique rapportent des déficits de la vision des couleurs chez les enfants nés après moins de 33 semaines de gestation, plus précisément pour le traitement des stimuli chromatiques de courtes longueurs d'onde (Abramov, Hainline, Lemerise, & Brown, 1985; Dobson & al., 1996; Dowdeswell, Slater, Broomhall, & Tripp, 1995)

Allaitement

Le lait maternel contient un taux important d'acide arachidonique (ARA) et d'acide docosahexaénoïque (DHA), des acides gras polyinsaturés que l'on trouve principalement dans la matière grise du cerveau ainsi que dans les photorécepteurs de la rétine (Cartier & Saint-Amour, 2014; Hoffman & al., 2009). Depuis le début des années 2000, plusieurs marques de préparation pour nourrissons contiennent des suppléments d'acides gras à longue chaîne, mais leur ajout n'est pas obligatoire et on en retrouve souvent une concentration moindre que dans le lait maternel (Mendonça, Araújo, Borgo, & de Rodrigues Alencar, 2017). Des études ont associé un taux élevé de DHA et d'ARA dans le sang avec un meilleur développement des fonctions visuelles, surtout chez les enfants nés prématurément. Ces recherches suggèrent que l'exposition à ces acides gras durant la période postnatale a des effets sur la maturation des composantes de la

voie parvocellulaire et de la rétine, soit des structures jouant un rôle important dans la perception des couleurs (Hoffman & al., 2009; Owen & al., 2018; Reynolds, 2001).

Temps d'écran et activité physique

Les habitudes de vie adoptées durant l'enfance et l'adolescence peuvent influencer sur le développement du système visuel. En effet, les occupations sédentaires sont associées avec une élévation de la pression sanguine qui peut mener à un rétrécissement des artérioles de la rétine (Gopinath & al., 2011). Au contraire, l'activité physique est reconnue pour induire une augmentation des fonctions endothéliales qui se traduit par une meilleure vasodilatation des artérioles de la rétine (Gopinath & al., 2011). Plusieurs études ont aussi pu faire un lien entre le temps d'écran des enfants, particulièrement le temps passé à jouer à des jeux vidéo, et l'apparition de déficits visuels comme la myopie (Lissak, 2018). Les activités physiques extérieures ont quant à elles été identifiées comme étant un facteur de protection dans le développement des troubles visuels (Takeuchi & al., 2015).

Hormones sexuelles

La puberté est marquée par une hausse de l'activité de l'axe hypothalamo-hypophysogonadique qui résulte en une augmentation de la libération des hormones sexuelles dans le sang (Bordini & Rosenfield, 2011). Bien qu'on les retrouve dans l'ensemble du corps, ces hormones agissent à partir de récepteurs spécifiques sur différents tissus. On les retrouve notamment dans plusieurs tissus de l'œil comme la rétine, la choroïde et la cornée (Gupta, Johar Sr, Nagpal, & Vasavada, 2005). Les taux d'hormones pourraient influencer les fonctions visuelles autant chez les hommes que chez les femmes (Suzuki & al., 2001).

Bien que la majorité de ces recherches utilisent des méthodes comportementales pour évaluer la perception chromatique, plusieurs des tests employés présentent des limites quant à la précision de leur mesure. De plus, peu de ces études se sont intéressées à la composante chromatique de la fonction visuelle.

Objectif et hypothèse

L'objectif de ce projet de recherche est de caractériser les effets de principaux déterminants développementaux sur la maturation de la vision des couleurs au début de l'adolescence. Pour ce faire, les associations entre la performance à une tâche informatisée permettant de mesurer les seuils de perception des couleurs (*Cambridge Colour Test*) et plusieurs déterminants développementaux ont été évaluées chez plus de 500 enfants d'environ 12 ans suivis depuis le premier trimestre de grossesse.

Une seule hypothèse a été émise dans le cadre de la présente étude : les déterminants développementaux survenant à divers moments dans le processus de maturation de la perception chromatique seront des prédicteurs significatifs des seuils de perception des couleurs au début de l'adolescence.

Méthodologie

Participants

La cohorte PELAGIE (Perturbateurs endocriniens : Étude Longitudinale sur les Anomalies de la Grossesse, l'Infertilité et l'Enfance) assure le suivi longitudinal de 3421 femmes enceintes et leurs enfants recrutés en Bretagne entre 2002 et 2006 dès les premiers mois de grossesse (< 19 semaines de gestation), lors de visites médicales pour obtenir des soins prénataux. Le présent travail est réalisé à partir d'un sous-échantillon de 559 enfants de cette cohorte PELAGIE âgés de 12 à 13 ans ($M = 12,81$).

Un groupe adulte regroupant 30 participants adultes âgés de 21 à 30 ans ($M = 24,04$) a aussi été créé afin d'obtenir une mesure fixe des seuils de perception des couleurs à l'âge adulte. Ces participants ont été recrutés selon une méthode d'échantillonnage volontaire parmi la communauté étudiante de l'Université du Québec à Montréal. Les critères d'exclusion à la participation d'un individu sont la naissance prématurée et les troubles neurologiques.

Procédures

Les enfants de la cohorte PELAGIE sont suivis depuis les premiers mois de la grossesse

(< 19 semaines de gestation). Les informations sociodémographiques de la mère ont été récoltées en début de grossesse à l'aide d'un questionnaire autoadministré. Les données médicales des enfants comprenant le périmètre crânien, le sexe et le nombre de semaines de gestation ont été recueillies à la naissance. Un suivi a également été réalisé par questionnaire à l'âge de 2 et 6 ans afin de documenter la durée de l'allaitement, l'état de santé et les habitudes de vie des enfants (temps d'écran et temps d'activité physique par semaine). À l'âge de 12 ans, un autre questionnaire permettant de recueillir des informations sur la santé de l'enfant, son environnement ainsi que ses habitudes de vie a été distribué. Les enfants de 12 ans ont aussi effectué plusieurs tests visuels, notamment le *Freiburg Visual Acuity and Contrast Test* (FrACT), le *Ishihara Color Test* et le *Cambridge Colour Test* (CCT).

Les participants du groupe adulte ont effectué exactement les mêmes tests visuels que les enfants de la cohorte PELAGIE, soit le *Ishihara Color Test*, le FrACT et le CCT au laboratoire du Dr Dave Saint-Amour au pavillon Adrien Pinard de l'Université du Québec à Montréal. Les participants ont d'abord dû remplir un court questionnaire permettant de recueillir leurs informations personnelles avant de se soumettre aux tests visuels.

Instruments

Tests visuels.

Ishihara Color Test. Ce test permet d'évaluer sommairement la présence d'une déficience de la vision de l'axe rouge-vert chez un individu (Birch, 1997). La version du test utilisée aux fins de cette étude comporte 17 planches sur lesquelles on retrouve un cercle constitué d'une mosaïque de plus petits cercles dont la couleur, la luminance et la taille varient. Dans la plupart des planches présentées, la disposition des cercles révèle un chiffre qui n'est pas le même pour les participants ayant une vision normale des couleurs et pour les participants présentant une déficience de la vision de l'axe vert-rouge. D'autres planches présentent pour leur part un chiffre qui est uniquement visible pour les personnes ayant une vision normale des couleurs ou à l'inverse, un chiffre qui est décelé uniquement par ceux ayant un déficit de la vision de l'axe rouge-vert. Les participants passent ce test dans une pièce éclairée par de la lumière naturelle ou artificielle, à une distance d'environ 70 cm.

Freiburg Visual Acuity and Contrast Test (FrACT). Ce test assisté par ordinateur permet de mesurer la sensibilité aux contrastes ainsi que l'acuité visuelle des participants (Bach, 2006). Ce test présente une série d'optotypes (anneaux de Landolt) dont la taille ou l'orientation varient en fonction de la condition mesurée en suivant une procédure dite « en escaliers ». Les optotypes diffèrent également selon quatre orientations différentes que le participant doit indiquer à l'aide de flèches sur un clavier. Ainsi, ce test permet de déterminer les seuils d'acuité visuelle et de sensibilité aux contrastes des participants. Les sujets doivent également se trouver à une distance d'environ 1.75 m de l'écran d'ordinateur pour effectuer ce test.

Cambridge Colour Test (CCT). La version trivectorielle de ce test présentée sur un ordinateur fournit une évaluation des seuils de discrimination des axes de confusion protan, deutan et tritan selon le diagramme de chromaticité de la commission internationale des éclairages (CIE) (Goulart & al., 2008). Ces axes sont une mesure de la sensibilité des cônes à ondes longues, à ondes moyennes et à ondes courtes respectivement. Lors de ce test, on présente au sujet un cercle dans lequel se trouve une cible en forme de C. Celle-ci se détache chromatiquement du reste de la figure. Le fond comme la cible sont formés de plusieurs pastilles dont la taille et la luminance diffèrent (voir Figure 5). Lors de la tâche, le sujet doit indiquer au moyen des flèches d'un clavier l'orientation de la cible qui peut varier aléatoirement selon quatre directions. Le contraste chromatique entre la cible et le fond est ajusté automatiquement entre chaque essai selon la performance du sujet en suivant une procédure en escaliers (*staircase*). De cette façon, il est possible d'obtenir une mesure quantitative précise des seuils de discrimination des trois axes de confusion des couleurs.

Questionnaires.

Questionnaire autoadministré en début de grossesse. Ce questionnaire à compléter à la maison a été distribué aux femmes enceintes dans les premiers mois de la grossesse. Il comportait des questions sur des facteurs sociodémographiques comme le nombre d'années d'études et l'âge de la mère.

Questionnaire autoadministré à l'âge de 2 et 6 ans. Ce questionnaire distribué aux parents a permis d'obtenir des informations concernant la santé et l'environnement de l'enfant,

notamment la durée de l'allaitement, le mode de garde parental et le temps passé devant la télévision.

Questionnaire « Grandir & Changer » à l'âge de 12 ans. Ce questionnaire distribué à la fois à l'enfant et à un parent a permis de faire un suivi du développement de l'enfant en recueillant des informations sur le nombre d'heures passé à faire de l'activité physique ou devant un écran. Une section réservée à l'enfant a permis une auto-évaluation des stades pubertaires de Tanner (1 à 5) tenant compte du développement de la pilosité pubienne, des testicules et des seins.

Questionnaire du groupe adulte. Ce questionnaire a été rempli par les participants adultes du groupe adulte afin de recueillir leurs informations personnelles (voir Annexe I).

Analyses

Les participants qui présentaient de la fièvre ou qui ont obtenu un nombre d'erreurs supérieur à deux au test de vision chromatique d'Ishihara ont été exclus des analyses.

Les seuils de perception des axes de confusion des couleurs protan, deutan et tritan ont permis d'avoir une mesure de la sensibilité au contraste chromatique chez les participants et ont été utilisés comme variables dépendantes lors des analyses. Les relations entre les variables dépendantes et les différents déterminants développementaux ont d'abord été examinées grâce à des corrélations de Pearson. Afin d'être incluses dans les modèles statistiques, les variables devaient être associées avec au moins l'une des trois variables dépendantes avec un niveau de signification inférieur ou égal à 0,2 ($p < 0,2$).

Des modèles de régressions linéaires hiérarchiques ont été employés afin d'étudier la relation existante entre les seuils de perception des axes de confusion des couleurs et les déterminants développementaux identifiés. Pour ce faire, les prédicteurs potentiels des modèles ont été séparés en deux blocs selon le moment de leur occurrence dans la vie des participants, soit la période périnatale et l'adolescence. Cette méthode permet de contrôler l'ordre d'entrée des

variables dans les modèles et d'ainsi isoler la variance expliquée par chacun des blocs.

L'ensemble des analyses statistiques a été réalisé à l'aide du logiciel SPSS 25.

Résultats

Le sous-échantillon final de la cohorte PÉLAGIE était composé de 244 garçons et 256 filles ($n = 500$) dont l'âge variait entre 12 et 13 ans ($M = 12,04$ $ET = ,19$). Les statistiques descriptives du sous-échantillon sont présentées dans le tableau 1.

Afin de satisfaire les postulats des analyses principales, la distribution de chacune des variables a été normalisée lorsque celle-ci présentait une asymétrie excédant les valeurs normales (-2 à 2). La distribution des variables suivantes présentait une asymétrie positive et a été modifiée à l'aide d'une transformation logarithmique de base 10 : durée de l'allaitement, temps passé devant l'ordinateur et les jeux vidéo à 12 ans ainsi que les moyennes des seuils de perception des axes de confusion protan, deutan et tritan. Compte tenu de son asymétrie négative, la distribution de la variable durée de la grossesse a été corrigées par l'entremise d'une transformation exponentielle de base 3.

Analyses de corrélations

Des corrélations bivariées de Pearson ont été utilisées afin d'identifier les variables qui étaient associées avec les moyennes des seuils de perception des couleurs à l'adolescence. Les coefficients de ces corrélations sont présentés dans le tableau 2. Pour la période périnatale, les résultats indiquent une relation statistiquement significative entre le sexe de l'enfant (masculin = 1 ; féminin = 2) et les seuils de perception des axes de confusion protan, $r(490) = ,133$, $p = ,003$ et tritan, $r(473) = ,110$, $p = ,016$. Parmi les variables recueillies durant l'enfance, les corrélations montrent une relation négative entre le niveau d'étude de la mère et le seuil de perception de l'axe de confusion protan, $r(489) = -,099$, $p = ,029$ ainsi qu'une relation positive entre le temps passé devant la télévision par semaine à 6 ans et le seuil de perception de l'axe de confusion protan $r(352) = ,117$, $p = ,028$. Pour les variables recueillies au moment de la passation des tests au début de l'adolescence, l'indice de masse corporelle est associé avec le seuil de perception de l'axe de confusion protan, $r(488) = ,116$, $p = ,010$ et le temps d'ordinateur et de jeux vidéo par

semaine à 12 ans est négativement associé avec les seuils de perception protan, $r(400) = -,157, p = ,002$, deutan, $r(387) = -,115, p = ,024$ et tritan $r(387) = -,173, p = ,001$. Les variables identifiées ainsi que celles présentant une corrélation dont l'indice de signification est plus petit que 0,2 ont par la suite été intégrées dans les modèles de régressions hiérarchiques.

Analyses linéaires hiérarchiques

Trois modèles de régressions linéaires hiérarchiques à deux blocs ont été utilisés afin d'examiner les différentes associations, soit un pour chacune des variables dépendantes à l'étude (seuils de perception protan, deutan et tritan). Les variables de la période périnatale ont été incluses dans le premier bloc des modèles hiérarchiques alors que le deuxième bloc était formé des variables mesurées au début de l'adolescence. Le temps d'ordinateur et de jeux vidéo par semaine à 12 ans ainsi que le temps d'activité physique par semaine à 12 ans n'ont pas été pris en compte dans ces premières analyses étant donné leur trop grand nombre de valeurs manquantes (> 80). Les coefficients bêta standardisés des différents modèles sont présentés dans le tableau 3.

Ces mêmes analyses de régressions linéaires hiérarchiques à deux blocs ont ensuite été relancées en intégrant cette fois le temps d'ordinateurs et de jeux vidéo par semaine et le temps d'activité physique par semaine à 12 ans dans les modèles statistiques. Le but de cette opération était d'examiner les associations existantes entre ces déterminants et les seuils de perception chromatique. Il est important de noter que l'intégration de nouveaux prédicteurs possibles dans les modèles de régression a entraîné une diminution importante de la taille du sous-échantillon étudié ($n = 259$). Les coefficients bêta standardisés de ces nouveaux modèles se trouvent dans le tableau 4.

Seuil de perception de l'axe de confusion protan. L'analyse du premier modèle montre une relation positive significative entre les moyennes du seuil de perception de l'axe de confusion protan et le périmètre crânien à la naissance, $\beta = ,117, p = ,044$ ainsi que le sexe de l'enfant, $\beta = ,142, p = ,006$. Les variables périnatales incluses dans le premier bloc permettent d'expliquer 3,2 % de la variabilité. Lorsque le deuxième bloc était intégré à l'analyse,

l'association avec le sexe de l'enfant demeure statistiquement significative, cependant, la relation significative avec le périmètre crânien à la naissance n'est plus observée, $\beta = ,111, p = ,059$.

L'ajout du deuxième bloc permet de constater que la prise de médicaments (Oui = 1 ; Non = 0) est un prédicteur significatif, $\beta = ,121, p = ,020$. Les variables du deuxième bloc ne permettent pas d'expliquer une partie significative de la variabilité (3,1 %) au-delà de ce qui est préalablement expliqué par les variables du premier bloc, $F(6, 380) = 2,12 p = ,051$. Le modèle global se révèle être un prédicteur significatif du seuil de perception protan au début de l'adolescence, $F(10, 380) = 2,58 p = ,005$ et explique 6,4 % de la variance (3,9 % ajustée).

Lorsque le temps d'ordinateur et de jeux vidéo ainsi que le temps d'activité physique par semaine à 12 ans sont inclus dans les modèles statistiques, les résultats obtenus varient considérablement. L'analyse du premier bloc ne montre aucune association significative entre les déterminants périnataux et le seuil de perception de l'axe de confusion protan. Les variables de ce premier bloc permettent uniquement d'expliquer 2,4% de la variabilité. L'ajout du deuxième bloc révèle une association significative entre la variable dépendante et la prise de médicaments avant les tests, $\beta = ,172, p = ,005$. L'ensemble des variables comprises dans le deuxième bloc permettent d'expliquer une part significative (6,1%) de la variabilité au-delà de ce qui est expliqué par le premier bloc, $F(8, 259) = 2,17 p = ,030$. Tout comme le dernier modèle statistique, ce modèle est un prédicteur significatif du seuil de perception de l'axe de confusion protan, $F(12, 259) = 2,01 p = ,024$, et permet d'expliquer 8,5% de la variance (4,3% ajustée).

Seuil de perception de l'axe de confusion deutan. Le deuxième modèle fait ressortir une association positive entre le périmètre crânien à la naissance et le seuil de perception de l'axe de confusion deutan, $\beta = ,141, p = ,016$. Cette association demeure statistiquement significative après l'intégration des variables du deuxième bloc au modèle. Aucune autre association n'est trouvée par la suite. Le premier bloc permet d'expliquer 2,3 % de la variance et le deuxième bloc n'est pas parvenu à expliquer une part significative de la variabilité (2,2 %) outre celle expliquée par le premier bloc, $F(6, 368) = 1,40 p = ,214$. Le modèle global n'est pas un prédicteur significatif, $F(10, 368) = 1,72 p = ,074$ et permet d'expliquer seulement 4,5 % de la variance (1,9 % ajustée).

L'ajout du temps d'activité physique et du temps d'ordinateur et de jeux vidéo par semaine à 12 ans dans les analyses modifient les résultats obtenus précédemment dans chacun des deux blocs de régression hiérarchique. On ne trouve plus de relations significatives dans le bloc de la période périnatale et ce dernier permet d'expliquer seulement 1,6% de la variance. L'intégration du deuxième bloc montre toutefois une nouvelle association significative avec la prise de médicaments, $\beta = ,135, p = ,033$. Les déterminants présents dans le deuxième bloc ne permettent pas d'expliquer une partie significative (4,9%) de la variabilité outre celle qui est déjà expliquée par les déterminants périnataux, $F(8, 250) = 1,64 p = ,115$. Dans la continuité du dernier modèle, le modèle global n'est pas un prédicteur significatif du seuil de perception de l'axe de confusion deutan, $F(12, 250) = 1,45 p = ,146$ et ne permet pas d'expliquer plus de 6,5% de la variance (2% ajustée).

Seuil de perception de l'axe de confusion tritan. L'analyse du troisième modèle de régression montre que le sexe de l'enfant (masculin = 1 ; féminin = 2) est un prédicteur significatif des moyennes du seuil de perception de l'axe de confusion tritan, $\beta = ,141, p = ,016$. Les variables périnatales permettent d'expliquer 1,7 % de la variabilité. Après l'intégration des variables recueillies au début de l'adolescence dans le modèle, la prise de médicaments se révèle également être un prédicteur significatif. Toutefois, l'association avec le sexe de l'enfant ne résiste pas à l'ajout du deuxième bloc, $\beta = ,100, p = ,065$. Les variables mesurées au début de l'adolescence ne permettent pas d'expliquer une part significative de la variabilité (2,2 %) au-delà de ce qui est expliqué par les variables périnatales, $F(6, 368) = 1,42 p = 2,05$. Le modèle global ne se montre pas être un prédicteur significatif des seuils de perception de l'axe de confusion tritan, $F(10, 368) = 1,51 p = ,135$ et permet d'expliquer uniquement 3,9 % de la variance (1,3 % ajustée).

De la même façon que pour les seuils de perception des axes de confusion protan et deutan, l'intégration du temps d'ordinateur et de jeux vidéo ainsi que du temps d'activité physique par semaine a modifié les résultats obtenus. Plus aucune association significative n'est observée dans le premier bloc d'analyse et celui-ci ne permet pas d'expliquer plus que 1,5% de

la variabilité. Lorsque le deuxième bloc est ajouté dans les analyses, il en ressort une association significative avec la prise de médicaments, $\beta = ,169, p = ,007$ ainsi qu'avec le niveau d'étude de la mère, $\beta = -,139, p = ,031$. Ce deuxième bloc permet d'expliquer une partie significative (7,6%) de la variabilité au-delà de celle qui est préalablement expliquée par le premier bloc, $F(8, 250) = 2,63 p = ,009$. Contrairement au dernier modèle, ce modèle statistique permet de prédire significativement les seuils de perception de l'axe de confusion tritan, $F(12, 250) = 2,09 p = ,018$, et permet d'expliquer 9,1% de la variance (4,8% ajustée).

Comparaison entre les groupes

Afin de vérifier si les seuils de perception chromatique sont parvenus à maturité au début de l'adolescence, les seuils de perception des trois axes de confusion des couleurs d'un groupe aléatoire du sous-échantillon PÉLAGIE ($n = 100$) ont été comparés aux seuils du groupe adulte ($n = 30$) à l'aide d'un test t à échantillons indépendants. Le tableau 5 illustre les différences entre les seuils de perception chromatique pour chacun des groupes. Comme attendu, les moyennes des seuils de perception de chacun des axes de confusion des couleurs des participants du groupe adulte sont plus significativement plus basses que les moyennes des seuils de perception des participants du groupe aléatoire du sous-échantillon PÉLAGIE.

Discussion

L'objectif de ce projet de recherche était d'évaluer les effets de certains déterminants développementaux sur la sensibilité au contraste chromatique chez de jeunes adolescents. Les résultats obtenus permettent de confirmer partiellement l'hypothèse selon laquelle certains déterminants développementaux prédisent significativement la perception des couleurs au début de l'adolescence. Le périmètre crânien à la naissance est significativement associé avec le seuil de perception de l'axe deutan. Le sexe de l'enfant pour sa part montre une association significative avec le seuil de perception de l'axe de confusion protan. Une relation significative existe également entre la prise de médicaments le jour des tests visuels et les seuils de perception des axes de confusion protan et tritan. Cependant, l'ensemble des déterminants développementaux ne permet d'expliquer qu'un très faible pourcentage de la variance des seuils de perception des axes de confusion des couleurs deutan et tritan. Seule la variance du seuil de perception protan est

significativement prédite par les déterminants étudiés.

Lorsque le temps d'ordinateur et de jeux vidéo ainsi que le temps d'activité physique par semaine à 12 ans sont aussi intégrés aux analyses statistiques, les résultats obtenus diffèrent. L'association significative entre le périmètre crânien à la naissance et le seuil de perception de l'axe de confusion deutan n'est plus observée. De même, la relation entre le sexe de l'enfant et le seuil de perception de l'axe de confusion protan préalablement observée n'est plus statistiquement significative. La prise de médicaments avant les tests est toutefois significativement associée avec chacun des seuils de perception des axes de confusion des couleurs. Le niveau d'étude de la mère est également associé significativement avec le seuil de perception de l'axe de confusion tritan. De plus, les déterminants parviennent à expliquer une part significative de la variance des seuils de perception des axes de confusion protan et tritan. La différence entre ces résultats peut être attribuable à la diminution importante de la taille de l'échantillon entre les différents modèles d'analyse. En effet, le nombre de participants compris dans les premières analyses s'approchait de 400 alors que la deuxième vague d'analyses comprenait entre 263 et 272 participants. Ces différences peuvent également être expliquées par l'ajout de deux nouvelles variables qui viennent nuancer la variabilité expliquée par chacun des déterminants. Par souci de cohérence, la totalité des associations trouvées entre les déterminants développementaux et les seuils de perception des axes de confusion des couleurs sont interprétées dans ce travail de recherche.

Globalement, les résultats obtenus avec les déterminants périnataux sont peu cohérents avec les résultats observés dans d'autres études. Dans la présente étude, un plus petit périmètre crânien à la naissance est relié à une meilleure performance au *Cambridge Colour Test* au début de l'adolescence. Cependant, dans la littérature, il est associé avec une moins grande microvascularisation de la rétine ainsi qu'avec une couche de fibres nerveuses rétinienne plus mince à l'adolescence (Gopinath & al., 2010; Tariq & al., 2011; Wang, Huynh, Rochtchina, & Mitchell, 2006). Un plus petit périmètre crânien à la naissance a également été étroitement lié à d'autres indicateurs développementaux comme un faible poids à la naissance et la prématurité qui sont pour leur part associés avec une vision des couleurs réduite (Powls, Botting, Cooke, Stephenson, & Marlow, 1997). Une telle relation significative, entre une moins longue période de

gestation et une moins grande sensibilité chromatique, n'a pas été établie dans cette recherche. Il est possible que cette absence d'association significative soit attribuable au petit nombre d'enfants prématurés du sous-échantillon étudié. Plusieurs études ont aussi montré que les risques de complications durant la grossesse et les risques d'un accouchement prématuré, eux-mêmes associés avec une plus grande occurrence de retards développementaux, augmentent avec l'âge de la mère (Cleary-Goldman & al., 2005; Jacobsson, Ladfors, & Milsom, 2004). Cependant, aucune association significative n'a été trouvée entre l'âge de la mère à la naissance de l'enfant et les seuils de perception des couleurs de ce dernier à l'adolescence dans cette étude. Ces résultats peuvent possiblement être expliqués par la faible représentation de femmes âgées de plus de 35 ans dans le sous-échantillon de la cohorte PÉLAGIE.

Les résultats montrent une relation positive entre une plus longue durée de l'allaitement et de meilleurs seuils de perception des couleurs. Bien que cette relation ne soit pas statistiquement significative, elle est dans la direction attendue. Plusieurs préparations commerciales pour nourrissons ne contiennent pas ou peu d'acides gras polyinsaturés, lesquels sont par contre abondants dans le lait maternel et nécessaires au développement optimal des fonctions visuelles impliquées dans la vision des couleurs (Hoffman & al., 2009). Sans connaissance des préparations pour nourrissons utilisées par les mères, il est alors difficile d'interpréter clairement les résultats obtenus.

Cette étude montre également que le seuil de perception chromatique de l'axe protan à 12 ans est significativement meilleur chez les garçons que chez les filles. De façon générale, les études sur les différences de sensibilité chromatique entre les sexes rapportent des résultats généralement inconsistants (Rodríguez-Carmona, Sharpe, Harlow, & Barbur, 2008). On trouve cependant quelques différences physiologiques entre les sexes au niveau des photopigments des cônes. Toutefois, contrairement à la présente étude, ces différences favoriseraient généralement les femmes lors des tâches de discrimination de stimuli chromatiques (Pardo, Pérez, & Suero, 2007). Les résultats obtenus vont également à l'encontre de la littérature en ce qui concerne les effets des hormones sexuelles sur les fonctions visuelles, particulièrement chez les filles. La puberté survient plus rapidement chez celles-ci que chez les garçons au début de l'adolescence et est caractérisée

par une augmentation des hormones sexuelles, telles que l'œstrogène. Or, de hauts taux d'œstrogène ont été associés avec une amélioration de la sensibilité au contraste (Akar, Yucel, Akar, Uner, & Trak, 2005). Ces résultats sont toutefois difficilement généralisables aux résultats de la présente étude. D'une part, puisqu'ils ne s'intéressaient pas spécifiquement à la sensibilité au contraste chromatique et d'autre part parce que l'échantillon était uniquement composé de femmes adultes enceintes.

En ce qui a trait aux déterminants développementaux qui se rapportent à l'environnement de l'enfant, les résultats obtenus concordent généralement avec les études antérieures. Un niveau d'étude supérieure à la réussite de l'examen du Baccalauréat (système scolaire français) chez la mère est associé avec un meilleur seuil de perception de l'axe de confusion tritan chez les enfants. Un niveau d'étude plus élevé des parents est souvent indicateur d'un milieu socioéconomique plus favorisé et a été associé dans la littérature avec plusieurs bienfaits sur la santé de l'enfant comme un meilleur développement des fonctions cognitives à l'enfance et à l'adolescence (Imhof & al., 2016; Noble & al., 2015; Roberts, Bornstein, Slater, & Barrett, 1999).

Dans cette étude, la prise de médicaments dans les heures précédant les tests visuels est associée avec une moins bonne performance globale au *Cambridge Colour Test*. Ces résultats ne sont pas surprenants si on considère que certains types de médicaments comme les antibiotiques ou les traitements antihistaminiques peuvent altérer les capacités visuelles en entraînant une plus grande sécheresse oculaire, une sensibilité accrue à la lumière, une vision plus floue, etc. Toutefois, d'autres médicaments comme les psychostimulants utilisés notamment dans le traitement du trouble déficitaire de l'attention peuvent accroître la sensibilité chromatique (Kim, Chen, & Tannock, 2014). Il serait donc intéressant d'observer les interactions entre les différentes classes de médicaments et les seuils de perception des couleurs.

La relation trouvée entre un plus grand temps passé devant l'ordinateur ou les jeux vidéo par semaine à l'âge de 12 ans et de meilleurs seuils de perception des couleurs ne s'est pas révélée significative. Le sens de cette relation ne correspond pas à celui attendu dans la mesure où un temps important d'ordinateur et de jeux vidéo chez les enfants a déjà été associé avec l'apparition

de déficits visuels, tel qu'une baisse de l'acuité (Lissak, 2018). Une hypothèse pouvant être mise de l'avant pour justifier cette relation est que les enfants passant plus de temps devant les jeux vidéo et l'ordinateur sont plus familiers avec l'utilisation de claviers et ont donc moins tendance à commettre des erreurs durant la tâche du *Cambridge Colour Test*. Il serait également possible que des fonctions cognitives de plus haut niveau, telles que l'attention visuelle et la réactivité psychomotrice face à des stimuli présentés sur ordinateur, interviennent dans cette association et aient été entraînées par l'exposition répétée aux jeux vidéo.

Dans le milieu de la recherche en perception des couleurs, les études ne font pas consensus sur l'âge d'atteinte de la maturité de la sensibilité chromatique. La majorité des études situent celui-ci entre le début de l'adolescence et le début de l'âge adulte (Crognale, 2002; Knoblauch & al., 2001; Madrid & Crognale, 2000). Dans le cadre de ce projet de recherche, la mise sur pied du groupe adulte formé de participants âgés entre 20 et 30 ans, a permis d'établir des seuils matures mixtes de perception des axes de confusion des couleurs. Afin d'établir si les seuils de perception chromatique ont atteint la maturité au début de l'adolescence, les seuils de perception des couleurs des participants du sous-échantillon PÉLAGIE ont été comparés aux seuils de perception des couleurs des participants du groupe adulte. Les analyses menées montrent que les participants ayant atteint l'âge adulte ont significativement une meilleure performance lors de tâche évaluant la sensibilité chromatique que les participants âgés d'environ 12 ans. Ces résultats indiquent que les seuils de perception des axes de confusion des couleurs ne sont pas encore matures au début de l'adolescence.

Limites

D'abord, comme ce projet de recherche s'inscrit dans le cadre d'une étude épidémiologique de grande envergure, il était impossible de contrôler pour l'ensemble des déterminants environnementaux. Il est en effet fort probable que certains déterminants non considérés dans cette étude permettent d'expliquer davantage de la variabilité dans la maturation des seuils de perception chromatique. De plus, plusieurs déterminants intégrés dans les modèles statistiques présentaient un grand nombre de valeurs manquantes, réduisant par conséquent la taille de l'échantillon disponible. Afin de remédier à cette situation, il serait intéressant d'utiliser des techniques plus

avancées d'imputation de données manquantes.

Conclusion

Cette étude s'inscrit parmi le petit nombre d'études exploratoires s'étant intéressées aux déterminants développementaux de la maturation de la perception des couleurs. Les résultats obtenus suggèrent que plusieurs déterminants périnataux comme le sexe de l'enfant ou le périmètre crânien à la naissance ainsi que certains déterminants environnementaux comme la prise de médicaments ou le niveau d'éducation parental ont une influence sur les seuils de perception chromatique au début de l'adolescence. D'autres déterminants comme la durée de la grossesse, la durée de l'allaitement ou le temps passé devant un écran pourraient aussi contribuer aux processus de maturation de la vision des couleurs. Parallèlement, ce projet a permis de confirmer que les seuils de perception des couleurs n'ont pas encore atteint la maturité au début de l'adolescence. Ce travail montre que les liens existants entre la vision et les déterminants développementaux varient selon la fonction visuelle à l'étude. Ceci met en lumière la présence de différences entre les processus de maturation des différentes voies de traitement de l'information visuelle de la rétine au système nerveux central.

Bibliographie

- Abramov, I., Hainline, L., Lemerise, E., & Brown, A. K. (1985). Changes in visual functions of children exposed as infants to prolonged illumination. *Journal of the American Optometric Association*, 56(8), 614-619.
- Akar, Y., Yucel, I., Akar, M. E., Uner, M., & Trak, B. (2005). Long-term fluctuation of retinal sensitivity during pregnancy. *Canadian journal of ophthalmology*, 40(4), 487-491.
- Bach, M. (2006). The Freiburg Visual Acuity Test-variability unchanged by post-hoc re-analysis. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 245, 965-971. doi:10.1007/s00417-006-0474-4
- Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2016). *Neurosciences : A la découverte du cerveau* (4 ed.). Paris: Pradel.
- Birch, E., & O'Connor, A. R. (2001). Preterm birth and visual development. *Seminars in Neonatology*, 6(6), 487-497. doi:10.1053/siny.2001.0077
- Birch, J. (1997). Efficiency of the Ishihara test for identifying red - green colour deficiency. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 17(5), 403-408. doi:10.1046/j.1475-1313.1997.97000227.x
- Bordini, B., & Rosenfield, R. L. (2011). Normal pubertal development. *Pediatrics in review*, 32(6), 223. doi:10.1542/pir.32-6-223
- Braun, C. M. J. (2000). *Neuropsychologie du développement*. Paris: Flammarion
- Cartier, C., & Saint-Amour, D. (2014). Prenatal Omega-3 Fatty Acid Intake and Visual Function. In V. Preedy (Ed.), *Handbook of Nutrition, Diet and the Eye* (pp. 253-261): Elsevier.
- Cleary-Goldman, J., Malone, F. D., Vidaver, J., Ball, R. H., Nyberg, D. A., Comstock, C. H., . . . Dugoff, L. (2005). Impact of maternal age on obstetric outcome. *Obstetrics & Gynecology*, 105(5), 983-990.
- Crognale, M. A. (2002). Development, maturation, and aging of chromatic visual pathways: VEP results. *Journal of Vision*, 2(6), 2-2. doi:10.1167/2.6.2
- Delorme, A., & Fluckiger, M. (2003). *Perception et réalité : Une introduction à la psychologie des perceptions Neurosciences & Cognition*. Louvain-la-Neuve, Belgique: De Boeck Supérieur.
- Dobson, V., Quinn, G. E., Abramov, I., Hardy, R. J., Tung, B., Siatkowski, R. M., & Phelps, D. L. (1996). Color vision measured with pseudoisochromatic plates at five-and-a-half years in eyes of children from the CRYO-ROP study. *Investigative ophthalmology & visual science*, 37(12), 2467-2474.

- Dowdeswell, H. J., Slater, A. M., Broomhall, J., & Tripp, J. (1995). Visual deficits in children born at less than 32 weeks' gestation with and without major ocular pathology and cerebral damage. *British Journal of Ophthalmology*, *79*(5), 447-452. doi:10.1136/bjo.79.5.447
- Gopinath, B., Baur, L. A., Wang, J. J., Hardy, L. L., Teber, E., Kifley, A., . . . Mitchell, P. (2011). Influence of physical activity and screen time on the retinal microvasculature in young children. *Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology*, *31*(5), 1233-1239.
- Gopinath, B., Baur, L. A., Wang, J. J., Teber, E., Liew, G., Cheung, N., . . . Mitchell, P. (2010). Smaller birth size is associated with narrower retinal arterioles in early adolescence. *Microcirculation*, *17*(8), 660-668.
- Goulart, P. R., Bandeira, M. L., Tsubota, D., Oiwa, N. N., Costa, M. F., & Ventura, D. F. (2008). A computer-controlled color vision test for children based on the Cambridge Colour Test. *Visual Neuroscience*, *25*(3), 445-450.
- Gupta, P., Johar Sr, K., Nagpal, K., & Vasavada, A. (2005). Sex hormone receptors in the human eye. *Survey of ophthalmology*, *50*(3), 274-284.
- Hoffman, D. R., Boettcher, J. A., & Diersen-Schade, D. A. (2009). Toward optimizing vision and cognition in term infants by dietary docosahexaenoic and arachidonic acid supplementation: a review of randomized controlled trials. *Prostaglandins, Leukotrienes and essential fatty acids*, *81*(2-3), 151-158. doi:10.1016/j.plefa.2009.05.003
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1977). Ferrier lecture-Functional architecture of macaque monkey visual cortex. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences*, *198*(1130), 1-59. doi:10.1098/rspb.1977.0085
- Imhof, K., Faude, O., Donath, L., Bean-Eisenhut, S., Hanssen, H., & Zahner, L. (2016). The association of socio-economic factors with physical fitness and activity behaviours, spinal posture and retinal vessel parameters in first graders in urban Switzerland. *Journal of sports sciences*, *34*(13), 1271-1280.
- Jacobsson, B., Ladfors, L., & Milsom, I. (2004). Advanced maternal age and adverse perinatal outcome. *Obstetrics & Gynecology*, *104*(4), 727-733.
- Kim, S., Chen, S., & Tannock, R. (2014). Visual function and color vision in adults with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Journal of optometry*, *7*(1), 22-36.
- Knoblauch, K., Vital-Durand, F., & Barbur, J. L. (2001). Variation of chromatic sensitivity across the life span. *Vision research*, *41*(1), 23-36.
- Lissak, G. (2018). Adverse physiological and psychological effects of screen time on children and adolescents: Literature review and case study. *Environmental research*, *164*, 149-157.

- Madrid, M., & Crognale, M. A. (2000). Long-term maturation of visual pathways. *Visual Neuroscience*, 17(6), 831-837.
- Magoon, E. H., & Robb, R. M. (1981). Development of myelin in human optic nerve and tract: a light and electron microscopic study. *Archives of ophthalmology*, 99(4), 655-659.
- Mausfeld, R., & Heyer, D. (2003). *Colour perception: Mind and the physical world*. Oxford, Royaume-Uni: Oxford University Press.
- McKeefry, D., & Zeki, S. (1997). The position and topography of the human colour centre as revealed by functional magnetic resonance imaging. *Brain: a journal of neurology*, 120(12), 2229-2242.
- Mendonça, M. A., Araújo, W. M. C., Borgo, L. A., & de Rodrigues Alencar, E. (2017). Lipid profile of different infant formulas for infants. *PloS one*, 12(6), e0177812.
- Molloy, C. S., Wilson-Ching, M., Anderson, V. A., Roberts, G., Anderson, P. J., & Doyle, L. W. (2013). Visual processing in adolescents born extremely low birth weight and/or extremely preterm. *Pediatrics*, 132(3), e704-e712.
- Noble, K. G., Houston, S. M., Brito, N. H., Bartsch, H., Kan, E., Kuperman, J. M., . . . Libiger, O. (2015). Family income, parental education and brain structure in children and adolescents. *Nature neuroscience*, 18(5), 773.
- Owen, C. G., Oken, E., Rudnicka, A. R., Patel, R., Thompson, J., Rifas-Shiman, S. L., . . . Kramer, M. S. (2018). The Effect of Longer-Term and Exclusive Breastfeeding Promotion on Visual Outcome in Adolescence. *Investigative ophthalmology & visual science*, 59(7), 2670-2678.
- Paramei, G. V., & Oakley, B. (2014). Variation of color discrimination across the life span. *JOSA A*, 31(4), A375-A384.
- Pardo, P. J., Pérez, A., & Suero, M. (2007). An example of sex - linked color vision differences. *Color Research & Application*, 32(6), 433-439.
- Powls, A., Botting, N., Cooke, R. W., Stephenson, G., & Marlow, N. (1997). Visual impairment in very low birthweight children. *Archives of Disease in Childhood-Fetal and Neonatal Edition*, 76(2), F82-F87.
- Reynolds, A. (2001). Breastfeeding and brain development. *Pediatric Clinics of North America*, 48(1), 159-171.
- Roberts, E., Bornstein, M. H., Slater, A. M., & Barrett, J. (1999). Early cognitive development and parental education. *Infant and Child Development: An International Journal of Research and Practice*, 8(1), 49-62.

- Rodríguez-Carmona, M., Sharpe, L. T., Harlow, J. A., & Barbur, J. L. (2008). Sex-related differences in chromatic sensitivity. *Visual Neuroscience*, 25(3), 433-440.
- Suzuki, T., Kinoshita, Y., Tachibana, M., Matsushima, Y., Kobayashi, Y., Adachi, W., . . . Kinoshita, S. (2001). Expression of sex steroid hormone receptors in human cornea. *Current eye research*, 22(1), 28-33.
- Takeuchi, H., Taki, Y., Hashizume, H., Asano, K., Asano, M., Sassa, Y., . . . Kawashima, R. (2015). The impact of television viewing on brain structures: cross-sectional and longitudinal analyses. *Cerebral Cortex*, 25(5), 1188-1197.
- Tariq, Y. M., Pai, A., Li, H., Afsari, S., Gole, G. A., Burlutsky, G., & Mitchell, P. (2011). Association of birth parameters with OCT measured macular and retinal nerve fiber layer thickness. *Investigative ophthalmology & visual science*, 52(3), 1709-1715.
- Wang, X. Y., Huynh, S. C., Rochtchina, E., & Mitchell, P. (2006). Influence of birth parameters on peripapillary nerve fiber layer and macular thickness in six-year-old children. *American journal of ophthalmology*, 142(3), 505-507.
- Wolfe, J. M., Kluender, K. R., Levi, D. M., Bartoshuk, L. M., Herz, R. S., Klatzky, R. L., . . . Merfeld, D. (2006). *Sensation & perception*: Sinauer Sunderland, MA.

Tableaux

Tableau 1

Statistiques descriptives du sous-échantillon PÉLAGIE

Variables	N valide	Min	Max	<i>M</i>	<i>ÉT</i>
Période périnatale					
Périmètre crânien	497	25.40	38.50	34.67	1.48
Durée de l'allaitement (mois)	421	0	54	4.05	5.48
Durée de la grossesse (semaines)	499	26.00	42.00	39.50	1.55
Âge de la mère	496	20	42	30.67	3.81
Sexe de l'enfant					
Garçons	244				
Filles	256				
Enfance					
Garderie					
Oui	59				
Non	306				
Niveau d'étude (mère)					
≤ Baccalauréat	368				
> Baccalauréat	131				
Temps de télévision (6 ans)	360	.00	24.00	6.94	4.08
Temps d'ordinateur et de jeux vidéo (6 ans)	358	.00	10.00	1.35	1.87
Adolescence (tests)					
Âge de l'enfant	500	12	13	12.04	.19
Médicaments					
Oui	86				
Non	413				
Moment de passation					
Avant-midi	186				
Après-midi	314				
IMC	498	12.90	33.00	18.19	2.57
Score d'acuité visuelle (LogMAR)	500	-.36	1.75	-.21	-.23
Temps d'activité physique	417	.75	12.00	3.50	2.01
Temps de télévision	479	.00	38.00	10.45	5.76

Temps d'ordinateur et de jeux vidéo	410	.00	34.00	5.32	5.12
Seuils de perception des couleurs					
Protan	492	.88	40.25	3.59	2.81
Deutan	475	.38	16.39	2.01	2.15
Tritan	475	1.98	68.33	9.72	5.04

Tableau 2

Coefficients de corrélation de Pearson entre les seuils de perceptions des couleurs et les déterminants développementaux

Variables	Protan	Deutan	Tritan
Période périnatale			
Périmètre crânien	.026	.072	.016
Durée de l'allaitement	-.075	-.032	-.001
Durée de la grossesse	.027	.060	.022
Âge de la mère	-.001	-.002	.059
Sexe de l'enfant	.133**	.057	.110*
Enfance			
Garderie	-.028	0.54	.003
Niveau d'étude (mère)	-.099*	-.051	-.069
Temps d'ordinateur et de jeux vidéo (6 ans)	-.013	.022	-.057
Adolescence (tests)			
Âge de l'enfant	.077†	.053	.020
Médicaments	0.87†	0.73	0.83†
Moment de passation du test	-.043	.041	.014
IMC	.116**	.073	.074
Score d'acuité visuelle Weber	-.030	-.028	-.076†
Temps d'activité physique (12 ans)	-.046	-.072	-.083
Temps de télévision (12 ans)	.055	.040	.064
Temps d'ordinateur et de jeux vidéo (12 ans)	-.157**	-.115*	-.173**

Note. Sexe (1 = Garçon, 2 = Fille) ; Garderie (0 = Non, 1 = Oui) ; Niveau d'étude (mère) (0 = ≤ Baccalauréat, 1 = > Baccalauréat); Médicaments (0 = Non, 1 = Oui) ; Moment de passation du test (0 = AM, 1 = PM)

† p ≤ .10 ; * p ≤ .05 ; ** p ≤ .005

Tableau 3

Modèles de régressions hiérarchiques des prédicteurs des seuils de perception des couleurs excluant les déterminants avec plus de 80 valeurs manquantes

	Prédicteurs	Coefficients Bêta standardisés		
		Protan	Deutan	Tritan
Bloc 1	Période périnatale			
	Périmètre crânien	.117*	.141*	.101†
	Durée de l'allaitement	-.094†	-.050	-.025
	Durée de la grossesse	-.079	-.017	-.060
	Sexe de l'enfant	.142**	.087	.116*
Bloc 2	Adolescence (tests)			
	Périmètre crânien	.111†	.143*	.104†
	Durée de l'allaitement	-.084	-.040	-.014
	Durée de la grossesse	-.082	-.023	-.062
	Sexe de l'enfant	.127*	.075	.100
	Âge de l'enfant	.092†	.069	.022
	Médicaments	.109*	.093†	.121*
	Niveau d'étude (mère)	-.068	-.043	-.041
	IMC	.082	.040	.031
	Acuité visuelle	.018	.058	.051
	Temps de télévision	-.020	-.010	.015

Note. Sexe (1 = Garçon, 2 = Fille) ; Niveau d'étude (mère) (0 = ≤ Baccalauréat, 1 = > Baccalauréat); Médicaments (0 = Non, 1 = Oui)

† p ≤ .10 ; * p ≤ .05 ; ** p ≤ .005

Tableau 4

Modèles de régressions hiérarchiques des prédicteurs des seuils de perception des couleurs incluant les déterminants avec plus de 80 valeurs manquantes

Prédicteurs	Coefficients Bêta standardisés		
	Protan	Deutan	Tritan
Bloc 1 Période périnatale			
Périmètre crânien	.049	.078	.067
Durée de l'allaitement	-.113†	-.068	-.023
Durée de la grossesse	-.022	.017	-.062
Sexe de l'enfant	.104†	.072	.110†
Bloc 2 Adolescence (tests)			
Périmètre crânien	.046	.107	.086
Durée de l'allaitement	-.114†	-.069	.000
Durée de la grossesse	-.014	.014	-.052
Sexe de l'enfant	.019	.010	.021
Âge de l'enfant	.068	.076	-.013
Médicaments	.172*	.135*	.169*
Niveau d'étude (mère)	-.085	-.049	-.139*
IMC	.074	-.050	.000
Acuité visuelle	.017	.085	.084
Temps de télévision	-.034	.008	.006
Temps d'ordinateur	-.127†	-.062	-.131†
Temps d'exercices	-.040	-.094	-.073

Note. Sexe (1 = Garçon, 2 = Fille) ; Niveau d'étude (mère) (0 = ≤ Baccalauréat, 1 = > Baccalauréat); Médicaments (0 = Non, 1 = Oui)

† p ≤ .10 ; * p ≤ .05

Tableau 5

Comparaison des seuils de perception des couleurs entre le groupe contrôle et le sous-échantillon PÉLAGIE (test t)

Groupes	Protan **		Deutan **		Tritan **	
	M	ÉT	M	ÉT	M	ÉT
PÉLAGIE	,656	,216	,425	,192	,995	,168
Adulte	,503	,076	,271	,082	,778	,149

** p ≤ .005

Figures

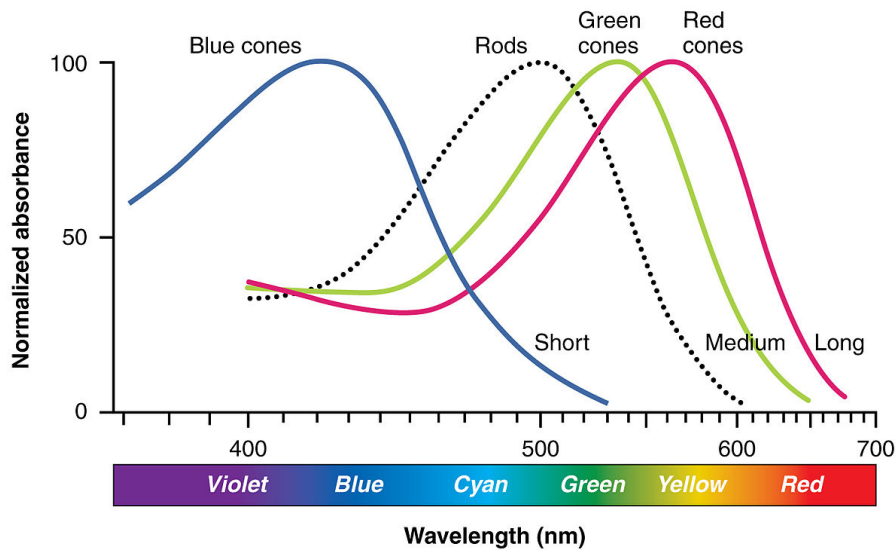


Figure 1. Illustration des courbes de sensibilité spectrale des trois différents types de cônes et du chevauchement entre celles-ci.

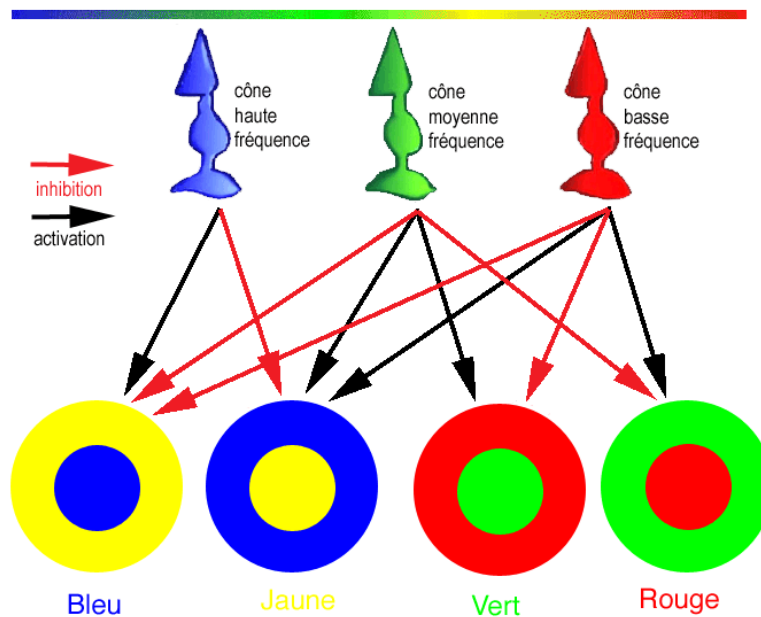


Figure 2. L'information chromatique transmise par les cônes va influencer sur l'activité de quatre cellules à opposition simple de couleur par un processus d'activation ou d'inhibition. Par exemple, la stimulation des cônes à ondes courtes (S) va exciter la cellule dont le centre du champ récepteur est sensible au bleu (B+/J-), tandis que la stimulation des cônes à ondes moyennes et longues va l'inhiber.

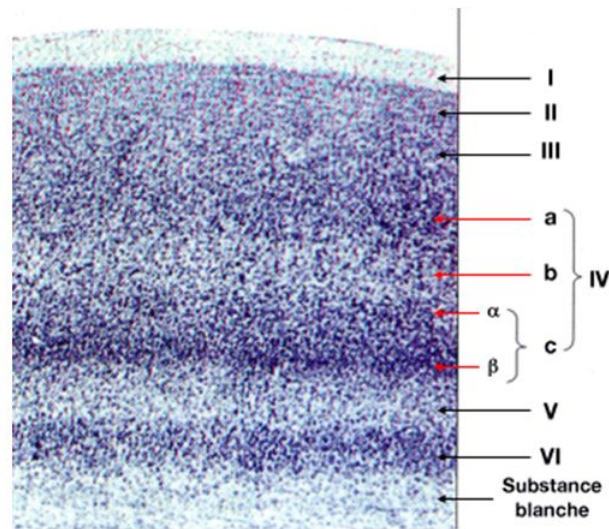


Figure 3.
Organisation en six couches du cortex strié.

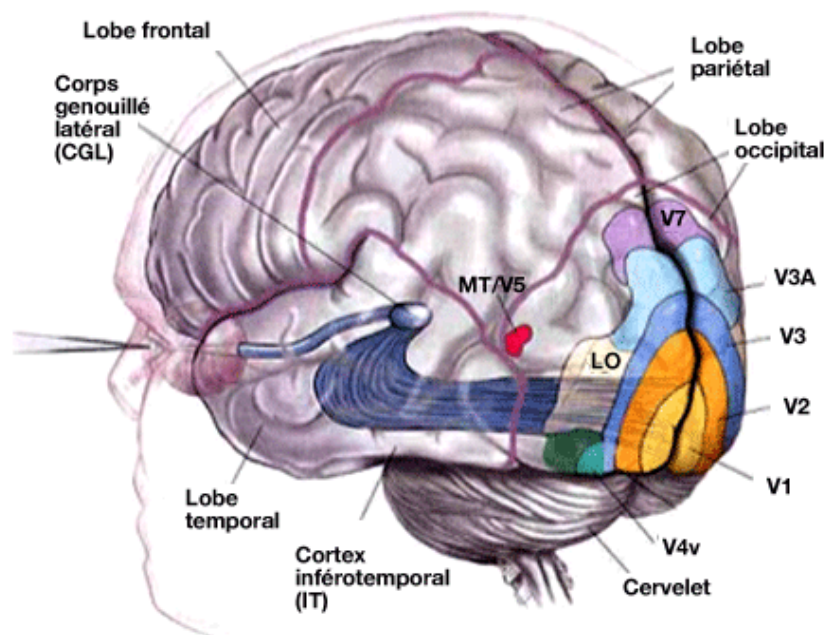


Figure 4. Aires visuelles du cortex.

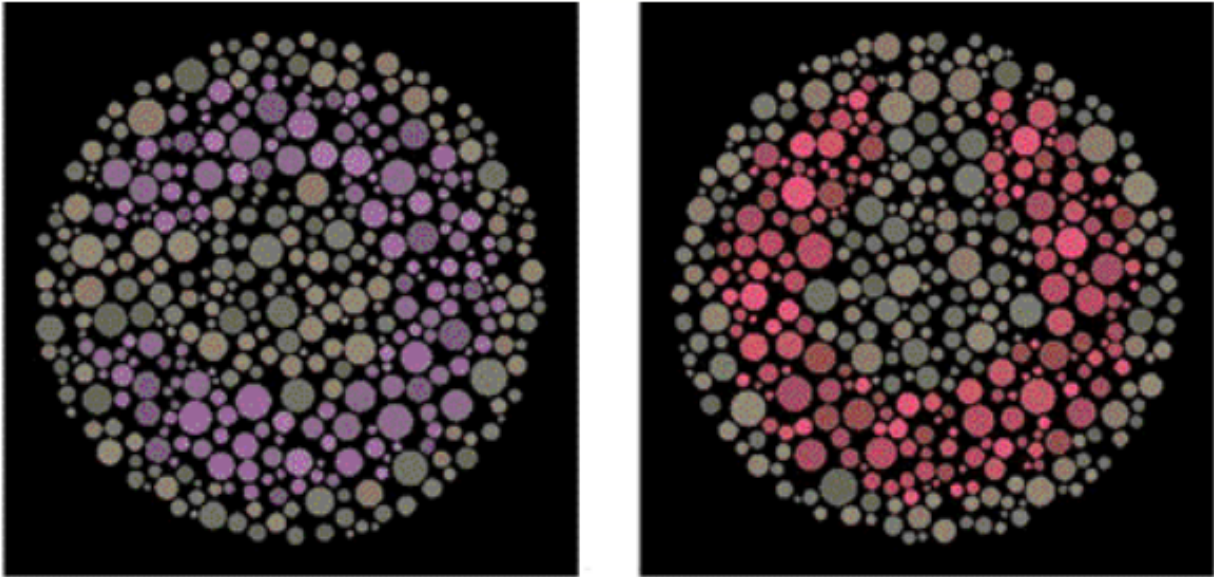


Figure 5. Exemples de planches du Cambridge Colour Test.

ANNEXES

ANNEXE I – Questionnaire pour le groupe contrôle

UQÀM | Université du Québec
à Montréal

Date : _____
Participant : VN-_____

Maturité de la perception des couleurs et déterminants
développementaux.

Questionnaire pour participant(e):

Nom : _____ Prénom : _____

Âge : _____ Sexe : _____

Adresse courriel : _____

Êtes-vous atteint(e) d'une anomalie visuelle connue? Oui ou non _____

Si oui, laquelle ou lesquelles? _____

Prenez-vous des médicaments sur une base régulière? Oui ou non _____

Si oui, lesquels? _____

ANNEXE II - Lettre d'approbation du comité d'éthique



No. de certificat: 3655
Certificat émis le: 17-07-2019

CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE

Le Comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants impliquant des êtres humains (CERPE FSH) a examiné le projet de recherche suivant et le juge conforme aux pratiques habituelles ainsi qu'aux normes établies par la *Politique No 54 sur l'éthique de la recherche avec des êtres humains* (Janvier 2016) de l'UQAM.

Titre du projet:	Perception de la couleur chez les jeunes adultes
Nom de l'étudiant:	Mathilde CHAMPAGNE-HAMEL
Programme d'études:	Thèse de spécialisation en psychologie ou stage de recherche (1er cycle)
Direction de recherche:	Dave SAINT-AMOUR

Modalités d'application

Toute modification au protocole de recherche en cours de même que tout événement ou renseignement pouvant affecter l'intégrité de la recherche doivent être communiqués rapidement au comité.

La suspension ou la cessation du protocole, temporaire ou définitive, doit être communiquée au comité dans les meilleurs délais.

Le présent certificat est valide pour une durée d'un an à partir de la date d'émission. Au terme de ce délai, un rapport d'avancement de projet doit être soumis au comité, en guise de rapport final si le projet est réalisé en moins d'un an, et en guise de rapport annuel pour le projet se poursuivant sur plus d'une année. Dans ce dernier cas, le rapport annuel permettra au comité de se prononcer sur le renouvellement du certificat d'approbation éthique.

Anne-Marie Parisot

Professeure, Département de linguistique

Présidente du CERPÉ FSH