



**HAL**  
open science

## Le “ Color Vision Evaluation Test ” : apport d’un nouveau test dans le diagnostic des dyschromatopsies congénitales chez l’enfant.

Anne-Laure Fisch

### ► To cite this version:

Anne-Laure Fisch. Le “ Color Vision Evaluation Test ” : apport d’un nouveau test dans le diagnostic des dyschromatopsies congénitales chez l’enfant.. Médecine humaine et pathologie. 2014. dumas-01585255

**HAL Id: dumas-01585255**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01585255>**

Submitted on 11 Sep 2017

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

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

UNIVERSITÉ DE NICE-SOPHIA ANTIPOLIS  
FACULTÉ DE MÉDECINE

THESE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'ÉTAT DE DOCTEUR  
EN MÉDECINE

**Le « *Color Vision Evaluation Test* »  
Apport d'un nouveau test  
dans le diagnostic  
des dyschromatopsies congénitales  
chez l'enfant.**

**Anne-Laure FISCH**  
Interne des Hôpitaux

Septembre 2014



UNIVERSITÉ DE NICE-SOPHIA ANTIPOLIS  
FACULTÉ DE MÉDECINE

**Le « *Color Vision Evaluation Test* »  
Apport d'un nouveau test  
dans le diagnostic  
des dyschromatopsies congénitales  
chez l'enfant.**

THESE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

Présentée et soutenue publiquement à la Faculté de Médecine de Nice

Le 26 Septembre 2014

Par

**Anne-Laure Fisch**

Née le 11 juillet 1984 à Lyon 3<sup>e</sup>

Interne des Hôpitaux de Nice

**MEMBRES DU JURY :**

**Monsieur le Professeur Pierre GASTAUD  
Monsieur le Professeur Christian HAMEL  
Madame le Professeur Solange MILAZZO  
Madame le Docteur Stéphanie BAILLIF  
Monsieur le Docteur Virgil IONICA  
Madame le Docteur Bérengère SCHNEIDER**

**Président du jury  
Assesseur  
Assesseur  
Directrice de thèse  
Assesseur  
Assesseur**

UNIVERSITÉ DE NICE-SOPHIA ANTIPOLIS  
FACULTÉ DE MÉDECINE

---

Liste des professeurs au 1<sup>e</sup> novembre 2013 à la Faculté de Médecine de Nice

<b>Doyen</b>	M. BAQUÉ Patrick
<b>Assesseurs</b>	M. BOILEAU Pascal M. HÉBUTERNE Xavier M. LEVRAULT Jacques
<b>Conservateur de la bibliothèque</b>	M. SCALABRE Grégory
<b>Chef des services administratifs</b>	Mme CALLEA Isabelle
<b>Doyens Honoraires</b>	M. AYRAUD Noël M. RAMPAL Patrick M. BENCHIMOL Daniel
<b>Professeurs Honoraires</b>	
M. BALAS Daniel	M. LALANNE Claude-Michel
M. BLAIVE Bruno	M. LAMBERT Jean-Claude
M. BOQUET Patrice	M. LAPALUS Philippe
M. BOURGEON André	M. LAZDUNSKI Michel
M. BOUTTÉ Patrick	M. LEFEBVRE Jean-Claude
M. BRUNETON Jean-Noël	M. LE BAS Pierre
Mme BUSSIERE Françoise	M. LE FICHOUX Yves
M. CHATEL Marcel	M. LOUBIERE Robert
M. COUSSEMENT Alain	M. MARIANI Roger
M. DAR COURT Guy	M. MASSEYEFF René
M. DELMONT Jean	M. MATTEI Mathieu
M. DEMARD François	M. MOUIEL Jean
M. DOLISI Claude	Mme MYQUEL Martine
M. FREYCHET Pierre	M. OLLIER Amédée
M. GÉRARD Jean-Pierre	M. ORTONNE Jean-Paul
M. GILLET Jean-Yves	M. SCHNEIDER Maurice
M. GRELLIER Patrick	M. TOUBOL Jacques
M. HAR TER Michel	M. TRAN Dinh Khiem
M. INGLES AKIS Jean-André	M. ZIEGLER Gérard
<b>M.C.A. Honoraire</b>	Mlle ALLINE Madeleine
<b>M.C.U. Honoraires</b>	
M. ARNOLD Jacques	M. GIUDICELLI Jean
M. BASTERIS Bernard	M. MAGNÉ Jacques

Mlle CHICHMANIAN Rose-Marie  
M. EMILIOZZI Roméo  
M. GASTAUD Marcel  
M. GIRARD-PIPAU Fernand

Mme MEMRAN Nadine  
M. MENGUAL Raymond  
M. POIRÉE Jean-Claude  
Mme ROURE Marie-Claire

### PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

M.	AMIEL Jean	Urologie (52.04)
M.	BENCHIMOL Daniel	Chirurgie Générale (53.02)
M.	CAMOUS Jean-Pierre	Thérapeutique (48.04)
M.	DARCOURT Jacques	Biophysique et Médecine Nucléaire (43.01)
M.	DELLAMONICA Pierre	Maladies Infectieuses ; Maladies Tropicales (45.03)
M.	DESNUELLE Claude	Biologie Cellulaire (44.03)
Mme	EULLER-ZIEGLER Liana	Rhumatologie (50.01)
M.	FENICHEL Patrick	Biologie du Développement et de la Reproduction
M.	FUZIBET Jean-Gabriel	Médecine Interne (53.01)
M.	FRANCO Alain	Gériatrie et Biologie du vieillissement (53.01)
M.	GASTAUD Pierre	Ophtalmologie (55.02)
M.	GILSON Éric	Biologie Cellulaire (44.03)
M.	GRIMAUD Dominique	Anesthésiologie et Réanimation Chirurgicale (48.01)
M.	HASSEN KHODJA Reda	Chirurgie Vasculaire (51.04)
M.	HÉBUTERNE Xavier	Nutrition (44.04)
M.	HOFMAN Paul	Anatomie et Cytologie Pathologiques (42.03)
M.	LACOUR Jean-Philippe	Dermato-Vénéréologie (50.03)
Mme	LEBRETON Élisabeth	Chirurgie Plastique, Reconstructrice et Esthétique
M.	MICHIELS Jean-François	Anatomie et Cytologie Pathologiques (42.03)
M.	PRINGUEY Dominique	Psychiatrie d'Adultes (49.03)
M.	QUATREHOMME Gérald	Médecine Légale et Droit de la Santé (46.03)
M.	SANTINI Joseph	O.R.L. (55.01)
M.	THYSS Antoine	Cancérologie, Radiothérapie (47.02)
M.	VAN OBBERGHEN Emmanuel	Biochimie et Biologie Moléculaire (44.01)

### PROFESSEURS PREMIERE CLASSE

M.	ALBERTINI Marc	Pédiatrie (54.01)
Mme	ASKENAZY-GITTARD Florence	Pédopsychiatrie (49.04)
M.	BAHADORAN Philippe	Cytologie et Histologie (42.02)
M.	BAQUÉ Patrick	Anatomie - Chirurgie Générale (42.01)
M.	BARRANGER Emmanuel	Gynécologie Obstétrique (54.03)
M.	BENIZRI Emmanuel	Chirurgie Générale (53.02)
Mme	BLANC-PEDEUTOUR Florence	Cancérologie – Génétique (47.02)
M.	BREAUD Jean	Chirurgie Infantile (54-02)
Mlle	BREUIL Véronique	Rhumatologie (50.01)
M.	CANIVET Bertrand	Médecine Interne (53.01)
M.	CARLES Michel	Anesthésiologie Réanimation (48.01)
M.	CASSUTO Jill-Patrice	Hématologie et Transfusion (47.01)
M.	CASTILLO Laurent	O.R.L. (55.01)
M.	CHEVALLIER Patrick	Radiologie et Imagerie Médicale (43.02)
M.	DUMONTIER Christian	Chirurgie plastique
M.	FERRERO Jean-Marc	Cancérologie ; Radiothérapie (47.02)
M.	FOURNIER Jean-Paul	Thérapeutique (48-04)
M.	FREDENRICH Alexandre	Endocrinologie, Diabète et Maladies métaboliques

Mlle	GIORDANENGO Valérie	Bactériologie-Virologie (45.01)
M.	GUÉRIN Olivier	Gériatrie (48.04)
M.	HANNOUN-LEVI Jean-Michel	Cancérologie ; Radiothérapie (47.02)
M.	IANNELLI Antonio	Chirurgie Digestive (52.02)
M.	JOURDAN Jacques	Chirurgie Thoracique et Cardiovasculaire (51.03)
M.	PADOVANI Bernard	Radiologie et Imagerie Médicale (43.02)
M.	PAQUIS Philippe	Neurochirurgie (49.02)
Mme	PAQUIS Véronique	Génétique (47.04)
M.	RAUCOULES-AIMÉ Marc	Anesthésie et Réanimation Chirurgicale
Mme	RAYNAUD Dominique	Hématologie (47.01)
M.	ROBERT Philippe	Psychiatrie d'Adultes (49.03)
M.	ROSENTHAL Éric	Médecine Interne (53.01)
M.	SCHNEIDER Stéphane	Nutrition (44.04)
M.	TRAN Albert	Hépto Gastro-entérologie (52.01)

### PROFESSEURS DEUXIEME CLASSE

M.	ALBERTINI Marc	Pédiatrie (54.01)
Mme	ASKENAZY-GITTARD Florence	Pédopsychiatrie (49.04)
M.	BAHADORAN Philippe	Cytologie et Histologie (42.02)
M.	BAQUÉ Patrick	Anatomie - Chirurgie Générale (42.01)
M.	BARRANGER Emmanuel	Gynécologie Obstétrique (54.03)
M.	BENIZRI Emmanuel	Chirurgie Générale (53.02)
Mme	BLANC-PEDEUTOUR Florence	Cancérologie – Génétique (47.02)
M.	BREAUD Jean	Chirurgie Infantile (54.02)
Mlle	BREUIL Véronique	Rhumatologie (50.01)
M.	CANIVET Bertrand	Médecine Interne (53.01)
M.	CARLES Michel	Anesthésiologie Réanimation (48.01)
M.	CASSUTO Jill-Patrice	Hématologie et Transfusion (47.01)
M.	CASTILLO Laurent	O.R.L. (55.01)
M.	CHEVALLIER Patrick	Radiologie et Imagerie Médicale (43.02)
M.	DUMONTIER Christian	Chirurgie plastique
M.	FERRERO Jean-Marc	Cancérologie ; Radiothérapie (47.02)
M.	FOURNIER Jean-Paul	Thérapeutique (48-04)
M.	FREDENRICH Alexandre	Endocrinologie, Diabète et Maladies métaboliques
Mlle	GIORDANENGO Valérie	Bactériologie-Virologie (45.01)
M.	GUÉRIN Olivier	Gériatrie (48.04)
M.	HANNOUN-LEVI Jean-Michel	Cancérologie ; Radiothérapie (47.02)
M.	IANNELLI Antonio	Chirurgie Digestive (52.02)
M.	JOURDAN Jacques	Chirurgie Thoracique et Cardiovasculaire (51.03)
M.	LEVRAUT Jacques	Anesthésiologie et Réanimation Chirurgicale (48.01)
M.	PASSERON Thierry	Dermato-Vénéréologie (50-03)
M.	PICHE Thierry	Gastro-entérologie (52.01)
M.	PRADIER Christian	Épidémiologie, Économie de la Santé et Prévention
M.	ROGER Pierre-Marie	Maladies Infectieuses ; Maladies Tropicales (45.03)
M.	ROHRLICH Pierre	Pédiatrie (54.01)
M.	RUIMY Raymond	Bactériologie-virologie (45.01)
M.	SADOUL Jean-Louis	Endocrinologie, Diabète et Maladies Métaboliques
M.	STACCINI Pascal	Biostatistiques et Informatique Médicale (46.04)
M.	THOMAS Pierre	Neurologie (49.01)
M.	TROJANI Christophe	Chirurgie Orthopédique et Traumatologique (50.02)
M.	VENISSAC Nicolas	Chirurgie Thoracique et Cardiovasculaire (51.03)

## PROFESSEUR DES UNIVERSITÉS

M. SAUTRON Jean-Baptiste Médecine Générale

## MAITRES DES CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS – PRATICIENS HOSPITALIERS

Mme ALUNNI-PERRET Véronique Médecine Légale et Droit de la Santé (46.03)  
M. AMBROSETTI Damien Cytologie et Histologie (42.02)  
Mme BANNWARTH Sylvie Génétique (47.04)  
M. BENOLIEL José Biophysique et Médecine Nucléaire (43.01)  
Mme BERNARD-POMIER Ghislaine Immunologie (47.03)  
Mme BUREL-VANDEBOS Fanny Anatomie et Cytologie pathologiques (42.03)  
M. DELOTTE Jérôme Gynécologie-Obstétrique (54.03)  
M. DOGLIO Alain Bactériologie-Virologie (45.01)  
Mme DONZEAU Michèle Biologie du Développement et de la Reproduction  
M. FOSSE Thierry Bactériologie-Virologie-Hygiène (45.01)  
M. FRANKEN Philippe Biophysique et Médecine Nucléaire (43.01)  
M. GARRAFFO Rodolphe Pharmacologie Fondamentale (48.03)  
Mme HINAULT Charlotte Biochimie et biologie moléculaire (44.01)  
Mlle LANDRAUD Luce Bactériologie-Virologie (45.01)  
Mme LEGROS Laurence Hématologie et Transfusion (47.01)  
Mme MAGNIÉ Marie-Noëlle Physiologie (44.02)  
Mme MUSSO-LASSALLE Sandra Anatomie et Cytologie pathologiques (42.03)  
M. NAÏMI Mourad Biochimie et Biologie moléculaire (44.01)  
M. PHILIP Patrick Cytologie et Histologie (42.02)  
Mme POMARES Christelle Parasitologie et mycologie (45.02)  
Mlle PULCINI Céline Maladies Infectieuses ; Maladies Tropicales (45.03)  
M. ROUX Christian Rhumatologie (50.01)  
M. TESTA Jean Épidémiologie Économie de la Santé et Prévention  
M. TOULON Pierre Hématologie et Transfusion (47.01)

## PROFESSEURS ASSOCIÉS

M. DIOMANDE Mohenou Isidore Anatomie et Cytologie Pathologiques  
M. HOFLOGGER Philippe Médecine Générale  
M. MAKRIS Démosthènes Pneumologie  
M. PITTET Jean-François Anesthésiologie et Réanimation  
Mme POURRAT Isabelle Médecine Générale

## MAITRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS

Mme CHATTI Kaouthar Biophysique et Médecine  
M. GARDON Gilles Médecine Générale  
Mme MONNIER Brigitte Médecine Générale  
M. PAPA Michel Médecine Générale



## PROFESSEURS CONVENTIONNÉS DE L'UNIVERSITÉ

M.	BERTRAND François	Médecine Interne
M.	BROCKER Patrice	Médecine Interne Option Gériatrie
M.	CHEVALLIER Daniel	Urologie
Mme	FOURNIER-MEHOUAS Manuella	Médecine Physique et Réadaptation
M.	QUARANTA Jean-François	Santé Publique

## Remerciements

A Monsieur le **Professeur Pierre GASTAUD**, président du Jury

Vous me faites l'honneur de présider le jury de cette thèse, et je vous en suis très reconnaissante. Je vous remercie pour votre bienveillance à mon égard depuis mes débuts en ophtalmologie, et de m'avoir permis de profiter, tout au long de mon internat, de vos qualités chirurgicales et humaines. Soyez assuré de ma gratitude et de ma considération.

A Monsieur le **Professeur Christian HAMEL**

Je vous remercie de m'avoir fait l'honneur de votre présence parmi ce jury de thèse. Votre excellence dans le domaine des maladies rares sensorielles rend votre avis inestimable. Soyez assuré de ma reconnaissance et de mon respect.

A Madame le **Professeur Solange MILAZZO**

Je vous remercie de m'avoir fait l'honneur d'accepter de juger ce travail. Votre expérience dans l'ophtalmologie pédiatrique rend votre avis précieux. J'espère que vous trouverez dans cette thèse le témoignage de ma gratitude.

A Monsieur le **Docteur Virgil IONICA**

Je vous remercie de m'avoir permis de découvrir votre merveilleux test d'exploration de la vision des couleurs. J'espère que ce travail aura su mettre en lumière toutes ses qualités. Je vous remercie également pour l'enthousiasme avec lequel vous avez accepté de participer à ce travail. J'espère que vous trouverez dans cette thèse le témoignage de ma reconnaissance.

A Madame le **Docteur Bérengère SCHNEIDER**

Je vous remercie pour votre gentillesse et votre soutien depuis notre première rencontre à Lenval. Les consultations d'ophtalmologies pédiatriques à vos côtés auront toujours été instructives et agréables. Soyez assurée de ma gratitude et de mon amitié.

A Madame le **Docteur Stéphanie BAILLIF**

Merci de la confiance que vous m'avez portée en acceptant d'encadrer ce travail de thèse. Votre disponibilité et vos conseils ont su m'accompagner tout au long de ce parcours.

Je vous remercie de m'avoir laissé profiter durant ces années d'internat de votre maîtrise chirurgicale et de vos connaissances inépuisables. C'était un véritable plaisir d'apprendre à vos côtés. Que ce travail soit l'occasion de vous exprimer toute ma reconnaissance et mon amitié.

A **Raphaël**, pour tout l'amour que tu me portes depuis 5 ans, pour toutes tes adorables attentions, pour ton soutien moral, pour ton humour anticonformiste, que parfois tu es le seul à comprendre, pour ta tolérance face à mon stress, mes coups de blues, et ma fatigue, et pour tes coups de pouce rédactionnels ! Pour tout cela je te remercie du fond du cœur.

A mon **père**. Malgré la distance qui nous sépare, tu as toujours été présent par ton soutien et tes encouragements. De peu de mots transparait l'affection que toujours tu me portes.

A ma **tante Chantal**, ton écoute et tes conseils auront toujours su m'accompagner.

A mes deux sœurs, **Hélène** et **Marine**, et à mon frère **Jordi**. A notre complicité, à nos fous rires. Même si l'éloignement se révèle souvent pesant, nous tirons le meilleur des trop rares mais si précieux instants partagés ensemble. Bientôt nous serons de nouveau réunis et unis en région lyonnaise !

A **Rose**, ma merveilleuse petite nièce. Et à mon deuxième neveu ou nièce en devenir ! J'ai hâte de vous voir grandir au sein de notre famille.

A mes deux beaux-frères **Laurent** et **Gaspard**. Merci de rendre mes sœurs si heureuses. A toi Laurent pour tes tartes au reblochon, tes délires ABBA et les incontournables soirées *yam*. A toi Gaspard pour tes délicieux fois gras maison dégustés à Noël, tes « bières arrangées » et ton humour décalé.

A mon oncle et ma tante, **Gérard** et **Annette**, pour m'avoir accueillie à Saint-Rémy-lès-Chevreuse à chacun de mes passages pour mes DIU !

A mon parrain **Paul** et à ma marraine **Hortensia**.

A ma belle famille :

A mes beaux-parents, **Elizabeth** et **Gérard**. Merci pour votre gentillesse et votre soutien. Je n'aurais pu espérer accueil plus chaleureux dans votre famille.

A **Rémi** et **Malorie**, ainsi qu'à **Laurent** et **Stéphanie**, et à leur adorable troupe de petits mecs ; Louis, Thibault, Lucas et bientôt Clément.

A mes meilleures amies ;

A **Anaïs** pour nos délires et nos fous rires depuis l'école primaire. A **Johanna** pour tous les moments partagés depuis la P1 jusqu'aux soirées cannoises. A **Charlotte**, pour les soirées lycées à regarder Anthony Kavanagh, pour m'avoir permis de rencontrer Raphaël. Et à **Laura** pour nos péripéties depuis l'année de terminale S jusqu'au *paléo* en Suisse !

Malgré des voies très différentes, la vie ne nous a pas séparé, merci pour cette belle amitié.

A ma « team lyonnaise », **Caro, Mel et Antoine**. Merci pour toutes ces aventures partagées à 4 durant les six premières années de médecine. Aux soirées étudiantes, aux journées de révisions interminables au « CHA », aux innombrables sous colles rue Saint Nizier, sans oublier le mémorable séjour à Saint-Genix-Sur-Guiers à préparer l'internat au bord de la piscine. L'amitié née de ces moments partagés perdurera malgré le temps et la distance.

A **Stéphane**, je n'aurai pu espérer meilleur partenaire depuis notre premier jour d'internat à Cannes. Ensemble, nous avons partagé les premières galères d'interne, mais aussi les soirées after-work niçoises, et surtout ton mariage avec Johanne à Tel-Aviv ! Plus qu'un co-interne, tu es devenu un véritable ami.

A **Alexandra**, orthoptiste hors paire de Lenval, et désormais amie sincère. Pour tes premiers cours sur le champ visuel, pour les sympathiques barbecues sous le soleil de ta terrasse, pour toutes les soirées cannoises, et pour les 2 prochaines années ensemble à Nice. Merci pour tout cela. Sans oublier ton aide précieuse dans l'élaboration de cette étude, sans toi je n'y serai pas arrivée !

Aux trois **Alex**, et tout particulièrement à **Alex Gavard**. Merci pour ton dernier semestre d'interne que nous avons partagé à Saint Roch. Merci aussi pour tes précieux conseils dans les différentes étapes de mon internat, pour ton soutien parisien pendant mon inter-CHU, sans oublier tes plannings de gardes toujours au top ! Je me souviendrai, avec une certaine pointe d'ironie, du DIU du Dr Lagier. Toutes ces vadrouilles aux quatre coins de la France nous auront au moins fait découvrir de belles régions !

Aux amis rencontrés durant ces années passées sur la Côte d'Azur, à **Hayfa, Charlotte, Camille, Guillaume, et Sandrine**. Et à ceux d'ailleurs : **Dam's et Lilie**.

A mes chers co-internes :

A **Nasser, Nas** pour les intimes. Tu auras été le pilier fort de notre consultation ! J'espère que ton retour en Arabie Saoudite aura su combler toutes tes attentes.

A **Céline et Elsa**, le duo chic et choc de Saint Roch. Une belle amitié est née de cette année passée ensemble.

A **Bruno**, l'interne le plus secret du service. Les journées de consultation auront toujours été agréables à tes côtés.

A **Benjamin**, qui n'aura jamais réussi à faire de la batterie de son téléphone sa meilleure alliée. Merci pour ta simplicité, ta bonne humeur et ta disponibilité à toute épreuve.

Aux jeunes internes que je n'ai pas encore eu le plaisir de connaître : **Sarah, Arnaud, Alexandra** et **Edouard**.

A mes assistants et chefs de cliniques :

A **Haythem**, parisien devenu ophtalmo corse par adoption. Pour les pique-niques improvisés sur les plages de la *Marana* avant de reprendre la consultation, pour les soirées à *Pinetto* et à la *Via Notte*, et pour ma première chirurgie de cataracte en solo de A à Z.

A **Jacmine**. Que du bonheur que ces 6 mois passés à tes côtés à Lenval ! Tu m'auras fait découvrir de la manière la plus agréable et la plus ludique possible l'ophtalmologie pédiatrique. Merci de t'être égarée ces quelques mois sur la French Riviera. Et une spéciale dédicace à ton mémoire !

A **Jérôme**, pour m'avoir transmis ta passion pour la chirurgie palpébrale, pour tous nos jeudis en duo au bloc, et pour ton aide précieuse dans la rédaction de mon mémoire. J'espère que les deux prochaines années à Saint Roch seront aussi riches d'échanges.

A **Clément**, pour nos débats cinématographiques, pour ton humour sans égal, pour les vendredis rétine au bloc avec *RTL2* en fond sonore, pour la fameuse vitrectomie 27G, et aussi pour ton emblématique expression : « rétrognathes parisiens » ! Merci de m'avoir fait partager ton monde chirurgical. Et encore félicitations pour ton installation toulousaine.

A **Célia** pour ta gentillesse et ta disponibilité pendant mon année d'interne à tes côtés. Et merci aussi au petit Eliott pour sa participation à l'étude.

A **Ghani**. Co-interne ou chef, tu as su rester égal à toi même ! Merci pour ton aide précieuse sur la fin de mon internat, pour m'avoir laissé opérer sans limites à tes côtés, pour les pauses café du 5e étage, pour tes départs précipités au bloc et pour tes consultations reprises au pied levé. Merci aussi pour tous les extras de Saint Roch ! Les apéros au *Juke House* en fin de consultation, les soirées aux *Coulisses*, et les interminables discussions à l'angle de ma rue, le soir en rentrant de l'hôpital. Je regrette de ne pouvoir vivre mes années de post internat à tes côtés. Je te souhaite tout le meilleur au Maroc.

A **Elisa** et **Cécilia**, la relève CCA ! Merci pour ces quelques mois de chefferie. Bientôt je rejoindrai votre « girl team » saint Rochoise.

A tous les patriciens du service :

Au **Dr Lagier**, pour m'avoir fait découvrir l'univers passionnant de l'oculoplastique, pour m'avoir donné l'envie d'apprendre et de persévérer dans cette voie, à **Fabien**, pour les précieux avis cornée, au **Dr Chofflet** pour votre disponibilité à l'OCT les mercredis après-midi, au **Dr Caujolle**, au **Dr Perrotta**, au **Dr Gramfort** et au **Dr Vangioni**.

A **Amel**, pour votre bienveillance tout au long de mon internat.

A nos secrétaires de choc : **Anne**, la **petite** et la **grande Flo**, **Julie**, **Cécilia**, **Nicole**, et **Nadine**. Merci pour votre disponibilité, votre bonne humeur, et bien sûr vos comméragés 100% Saint Roch! Une pensée spéciale pour Nadine et la petite Flo qui m'ont aidé à reconvoquer les patients de cette thèse. Une pensée également pour la jeune Manon qui a participé à l'étude.

A la fine équipe de la consultation : **Gis et Véro**, **Jeff**, **Espérance**, **Cathy**, **Sido**, **Sandra**, **Véro** (la deuxième), **Marion** et **Sophie**. Merci d'avoir pris soin de nous durant ces longues journées de travail, et d'avoir également su rendre les consultations agréables pour nous tous.

Aux différents médecins que j'ai côtoyé durant mes années d'internes :

Au **Dr Chagnon**, **Dr Payan** et **Dr Izambart** au CHR de Cannes. Merci pour votre patience et votre disponibilité sans limite à mes tous débuts dans l'ophtalmologie.

Au **Dr Federici** et **Dr Etienne**. Mon année passée à Bastia restera un excellent souvenir. Merci pour les apéros dégustés à Saint Florent, pour les ambiances musicales au bloc, et pour les prémices d'initiation au kitesurf !

Au **Dr Gramet**, **Dr Fouret** et **Dr Costet** et à toute l'équipe de Lenval. Merci de m'avoir fait profiter de vos connaissances inestimables en ophtalmologie pédiatrique. A **Jennifer**, **Jessica** et **Christina**, le trio gagnant de secrétaires! Merci pour votre gentillesse et votre bonne humeur à toute épreuve, et tout particulièrement durant ces derniers longs mois où vous avez supporté ma présence lors de mes satanés tests de la vision des couleurs !

Au **Dr Gatinel**, et à tout son service de la fondation Rothschild. Merci de m'avoir fait découvrir l'univers passionnant de la cornée durant ce semestre parisien. Les chirurgies réfractives sont à présent démystifiées.

Au **Dr Hadad**, **Dr Peix**, **Dr Cantaloube**, et **Dr Rocher**. Merci de la confiance que vous m'avez porté en me permettant de venir remplacer dans vos cabinets respectifs.

Au **Dr Perrin**, merci de m'avoir transmis votre passion pour la médecine. Je me souviendrai avec affection de mes rdv, enfant, au sein de votre cabinet.

Au **Dr Pecou** et à l'ensemble des **médecins scolaires** de l'académie de Nice et des Alpes-Maritimes, merci pour votre précieuse collaboration dans cette étude.

Au **Dr Doyen**, pour avoir réaliser les analyses statistiques de ma thèse. Je te remercie pour ta disponibilité à toute épreuve.

*A la mémoire de ma mère, Maria-Dolores*

# TABLE DES MATIÈRES

<b>1. INTRODUCTION</b> .....	16
<b>2. GÉNÉRALITÉS</b> .....	18
2.1. <b>Physiologie de la vision des couleurs</b> .....	19
2.1.1. Perception lumineuse .....	19
2.1.2. Caractéristiques physiques et psychosensorielles de la sensation chromatique..	20
2.1.3. Physiologie des cônes .....	22
2.1.4. Transmission de l'information colorée .....	26
2.1.5. Facteurs de variation intrinsèque de la perception colorée .....	30
2.1.5.1. L'âge.....	30
2.1.5.2. Les amétropies fortes .....	31
2.2. <b>Physiopathologie des dyschromatopsies</b> .....	32
2.2.1. Génétique des photopigments .....	32
2.2.2. Dyschromatopsies congénitales .....	33
2.2.2.1. Définition .....	34
2.2.2.2. Épidémiologie .....	35
2.2.2.3. Mode de transmission héréditaire .....	36
2.2.2.4. Caractéristiques générales .....	36
2.2.3. Dyschromatopsies acquises .....	38
2.2.3.1. Mécanismes physiopathologiques .....	38
2.2.3.2. Classification .....	39
2.2.3.3. Épidémiologie .....	40
2.2.3.4. Caractéristiques générales .....	40
2.3. <b>Tests d'exploration clinique de la vision des couleurs</b> .....	41
2.3.1. Principes .....	41
2.3.1.1. Système colorimétrique de Munsell .....	42
2.3.1.2. Le spectre chromatique des dyschromates .....	43
2.3.2. Modalités de réalisation .....	46
2.3.2.1. L'éclairage .....	46
2.3.2.2. Le sujet .....	48
2.3.2.3. L'environnement .....	48
2.3.3. Les principaux tests de la vision des couleurs .....	48
2.3.3.1. Les planches pseudo-isochromatiques .....	48
2.3.3.2. Les tests d'assortiment ou de classement .....	49
2.3.3.3. Les anomaloscopes .....	52
2.3.4. Stratégie d'examen .....	54
2.4. <b>Le Color Vision Evaluation Test</b> .....	55
2.4.1. Pourquoi ce test .....	55
2.4.2. Principe et objectifs du test .....	56
2.4.3. Composition du test .....	57
<b>3. MATERIEL ET MÉTHODE</b> .....	62
3.1. Objectif de l'étude .....	63
3.2. Critères d'inclusion .....	63

3.3. Critères de non inclusion .....	63
3.4. Déroulement de l'étude .....	64
3.5. Le 15 Hue Standard de Farnsworth .....	65
3.5.1. Réalisation .....	65
3.5.2. Interprétation .....	65
3.6. Le Color Vision Evaluation Test .....	66
3.6.1. Réalisation .....	66
3.6.2. Interprétation .....	67
3.7. Paramètres expérimentaux .....	68
3.8. Analyse statistique .....	68
<b>4. RÉSULTATS .....</b>	<b>69</b>
4.1. Description de la population étudiée .....	70
4.2. Résultats diagnostiques .....	71
4.2.1. Groupe « Dyschromate » .....	71
4.2.2. Groupe « Contrôle » .....	76
4.3. Critères de faisabilité .....	81
4.3.1. Temps d'explication .....	81
4.3.2. Temps de réalisation .....	83
4.3.3. Facilité d'exécution .....	91
4.3.4. Préférence de l'exécutant .....	92
4.4. Critères de fiabilité .....	93
4.4.1. Sensibilité des tests .....	96
4.4.2. Spécificité des tests .....	97
4.4.3. Courbes ROC.....	99
4.5. Concordance .....	113
4.6. Reproductibilité .....	114
<b>5. DISCUSSION .....</b>	<b>116</b>
5.1. Protocole de l'étude .....	117
5.2. Caractéristiques de la population étudiée .....	119
5.3. Critères de faisabilité .....	120
5.4. Critères de fiabilité .....	121
5.5. Reproductibilité des résultats .....	124
5.6. Concordance des résultats .....	124
5.7. Avantages supplémentaires du CVET test .....	125
5.8. Problématique de l'enfant .....	129
5.9. Limites de l'étude .....	134
5.10. Perspectives .....	135
<b>6. CONCLUSION .....</b>	<b>137</b>
<b>7. RESUME .....</b>	<b>139</b>
<b>8. BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>140</b>



# **1. INTRODUCTION**

Le sens chromatique constitue un des trois éléments essentiels de la vision, avec la sensibilité lumineuse et la perception des formes. Il est présent dès les premiers mois de vie, mais la discrimination fine des valeurs chromatiques ne s'acquiert que progressivement par l'expérience personnelle et l'éducation.

Les dyschromatopsies congénitales sont l'un des troubles visuels héréditaires les plus fréquents. Leur prévalence varie de 8 à 10 % chez les hommes et 0,4 à 0,5% chez les femmes.

Il est reconnu qu'un dépistage précoce du déficit chromatique chez l'enfant est indispensable pour son apprentissage et ses aptitudes scolaires, et plus tard, pour son orientation et ergonomie professionnelles. Cependant, peu de tests d'exploration clinique de la fonction chromatique sont adaptés aux jeunes enfants.

Parmi ceux-ci, nous pouvons citer le test 15 Hue standard de Farnsworth qui permet de confirmer dans la plupart des cas le diagnostic de dyschromatopsie congénitale une fois celle-ci suspectée. Cependant, cet examen présente quelques inconvénients qui exigent parfois du clinicien qu'il complète l'exploration par d'autres tests de la fonction chromatique.

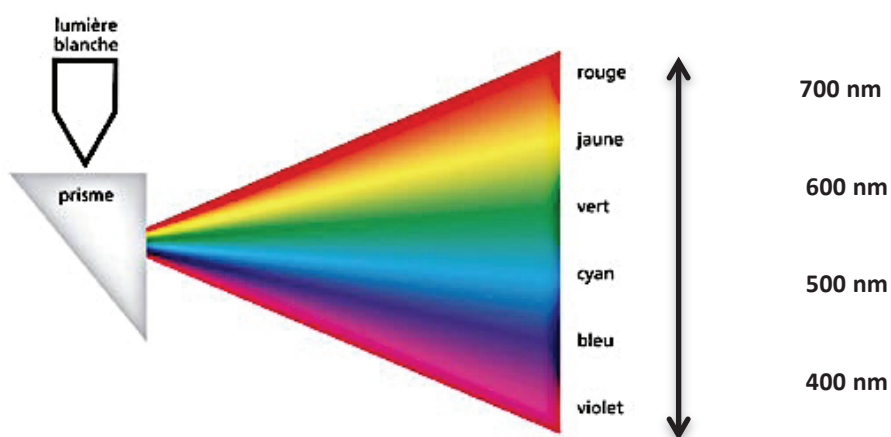
Notre étude a pour objectif d'évaluer la validité diagnostique d'un nouveau test de la vision des couleurs dans l'exploration des dyschromatopsies congénitales chez les enfants, le « *COLOR VISION EVALUATION TEST* ». Pour cela, nous avons comparé les résultats du dit test au test de référence chez les enfants, le test 15 Hue standard de Farnsworth.

## **2. GÉNÉRALITÉS**

## 2.1. PHYSIOLOGIE DE LA VISION DES COULEURS

### 2.1.1. Perception lumineuse

La lumière visible par l'œil humain peut être décomposée en une infinité de longueurs d'onde comprises entre 400 et 700 nm. Ces longueurs d'ondes peuvent être divisées en trois sous groupes : les courtes longueurs d'onde perçues du violet au bleu (400-500nm), les moyennes longueurs d'onde perçues du vert au jaune-orangé (500-600 nm), et les grandes longueurs d'onde perçues du orange au rouge soutenu (600-700 nm).



**Figure 1 :**

Décomposition de la lumière visible par un prisme optique  
en un spectre continu de longueurs d'onde comprises entre 400 et 700 nm.

*Selon le principe de Newton 1672.*

Chaque couleur est donc définie par une longueur d'onde du spectre lumineux visible. Sans lumière, la vision colorée est impossible, puisque la couleur n'est qu'un paramètre du rayonnement lumineux.

### 2.1.2. Caractéristiques physiques et psychosensorielles de la sensation chromatique

Un rayonnement lumineux monochromatique (i.e. rayonnement formé d'une seule longueur d'onde) peut être caractérisé par les paramètres physiques suivants :

- Sa **luminance** (L) : correspondant à l'intensité lumineuse émise par unité de surface de la source étendue (Candela/m<sup>2</sup>).
- Sa **longueur d'onde** ( $\lambda$ ) : correspondant à la périodicité spatiale de la vibration lumineuse (nanomètres). Elle est directement liée à la sensation de couleur.

Lorsqu'il s'agit d'un rayonnement polychromatique (i.e. rayonnement formé d'une multitude de longueurs d'onde différentes), un troisième paramètre s'y ajoute :

- La **pureté** (P) : proportion de lumière blanche incluse dans le mélange chromatique (candela/m<sup>2</sup>).

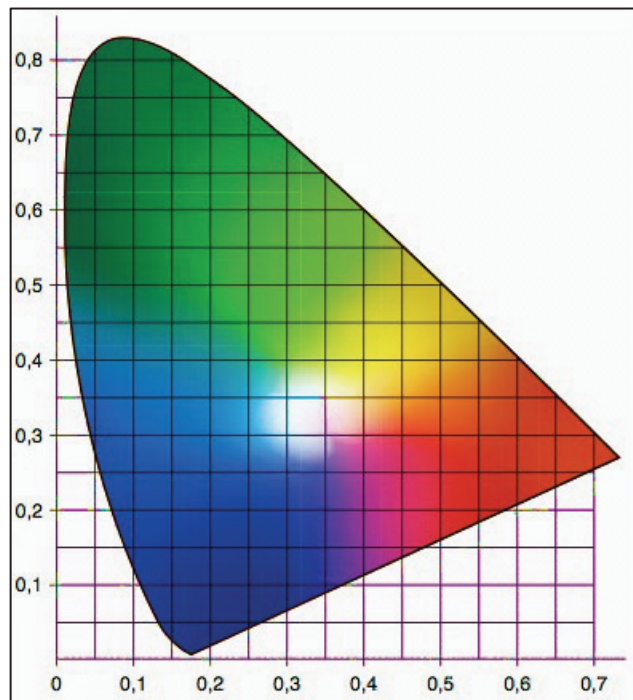
À chaque paramètre physique correspond une caractéristique psychosensorielle :

- La **luminosité** (Value) : correspondant à l'intensité lumineuse subjective d'une source colorée. Elle est définie comme intense ou faible pour une source lumineuse, et clair ou foncé pour un objet.
- La **tonalité** (Hue) : correspondant à la teinte de la sensation chromatique. Elle est fonction de la longueur d'onde absorbée par les cônes rétiniens. L'œil humain peut distinguer plus de 200 tonalités pures.
- La **saturation** (Chroma) : correspondant à l'aspect pur ou délavé d'une couleur.

Aspect Physique	Aspect Psychophysique	Aspect Psychosensoriel
Longueur d'onde (nm)	Tonalité	Rouge, Bleu, Vert...
Luminance (cd/m <sup>2</sup> )	Luminosité	Clair ou Foncé (objet) Intense ou faible (source lumineuse)
Pureté (cd/m <sup>2</sup> )	Saturation	Couleur délavée ou Pure

**Tableau 1 :**  
**Correspondance des différents paramètres chromatiques.**

La totalité des chromies perçues peut être représentée sous la forme d'un graphique triangulaire ; le triangle des couleurs de la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE). Sur ce graphique : les tonalités saturées se situent sur le pourtour du triangle, avec les trois couleurs primaires aux 3 angles. À partir de chaque tonalité, la décroissance progressive de la saturation depuis la périphérie vers le centre du triangle aboutit à la couleur blanche (désaturation maximale ou saturation nulle).



**Figure 2 :**  
**Le triangle des couleurs (Commission Internationale de l'Éclairage, 1931).**

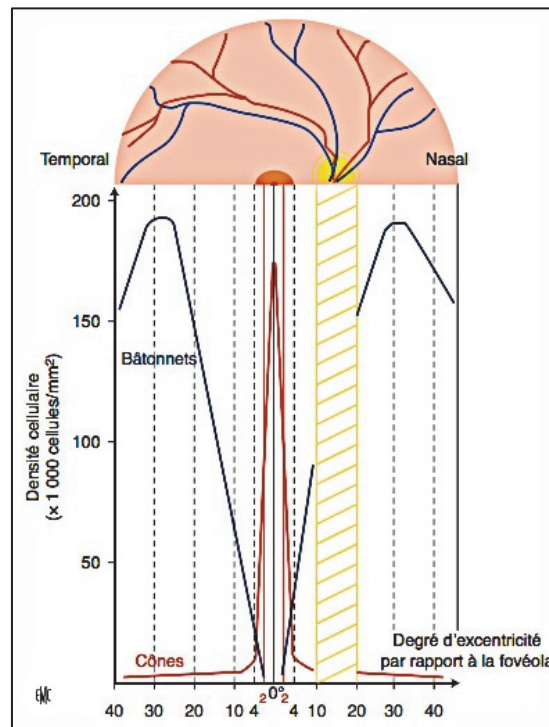
### **2.1.3. Physiologie des cônes**

La lumière, après avoir traversé les différents éléments oculaires, interagit avec les cellules photoréceptrices rétiniennes : les cônes et les bâtonnets.

Cette absorption de photons initie une cascade de réactions biochimiques permettant la transformation d'une énergie radiative en une énergie métabolique : c'est le phénomène de transduction visuelle.

Les cônes et les bâtonnets jouent chacun un rôle spécifique dans la physiologie de la vision. Les cônes sont à l'origine de la vision photopique maculaire centrale. La sensation colorée, hautement spécialisée, est une fonction fovéale où seuls les cônes interviennent. Cette catégorie de photorécepteurs est active pour des éclairagements lumineux importants, et c'est uniquement en ambiance diurne (lumière du jour ou équivalent lumineux artificiel) que la discrimination colorée est possible.

Les cônes et les bâtonnets sont répartis en proportion inégale sur la rétine. Les cônes sont beaucoup moins nombreux, environ 4,5 millions, contre 100 millions de bâtonnets. (1) De plus, leur disposition varie au sein même de la rétine. Absents en périphérie, la concentration des cônes augmente dans la région centrale pour devenir exclusifs au niveau fovéolaire. A l'inverse, les bâtonnets sont absents au niveau fovéolaire et ils deviennent de plus en plus nombreux du centre vers la périphérie rétinienne.



**Figure 3 :**

Répartition des photorécepteurs sur la rétine en fonction du degré d'excentricité par rapport à la fovéola. (2)

Du point de vue histologique, tous les photorécepteurs sont semblables. Ils sont constitués de deux segments : un segment externe contenant les photopigments (ou opsines), et un segment interne.

Néanmoins, chaque photorécepteur diffère par la nature de son photopigment, ainsi que par les circuits cellulaires avec lesquels il fait synapse.

L'absorption de chaque couleur du spectre lumineux est conditionnée par la nature du photopigment contenu dans les articles externes des cônes. Il existe trois types de photopigment dont la composition diffère selon le nombre et l'ordonnement des acides aminés qui les composent. A chaque type de photopigment correspond un type de



cône. Ainsi, trois catégories de cônes peuvent être définies, chacune avec une probabilité d'absorption lumineuse spécifique : (3)

- Les **Cônes S** (*short wavelength cone*) : sensibles au bleu avec un maximum d'absorption pour les longueurs d'onde à 420 nm.
- Les **Cônes M** (*medium wavelength cone*) : sensible au vert avec un maximum d'absorption pour les longueurs d'onde à 530 nm.
- Les **cônes L** (*Long wavelength cone*) : sensibles au rouge, avec un maximum d'absorption pour les longueurs d'onde à 560 nm.

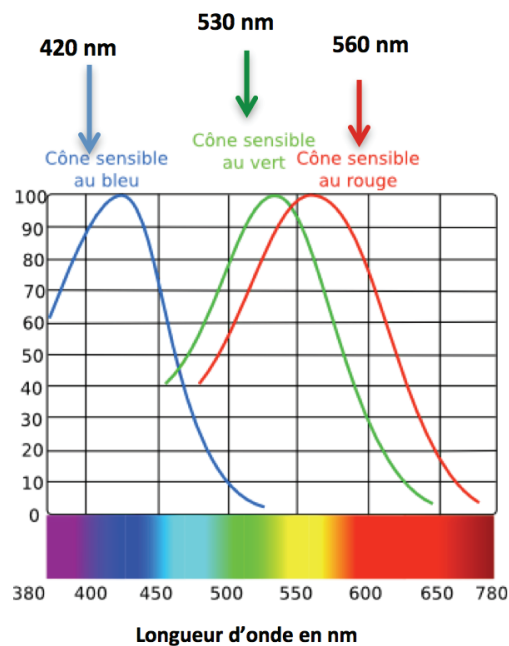
C'est grâce à la mise en évidence de ces trois catégories de photopigment que l'hypothèse du trichromatisme rétinien a pu être formulée par Young en 1801. (4) Cette hypothèse est fondée sur la capacité de l'œil à percevoir la totalité du spectre coloré par l'intermédiaire de trois catégories de cônes (comme développé ci-dessus). La vision est ainsi définie comme trichromatique et l'œil comme un organe trichromate.

La photométrie est la méthode permettant la mesure de la sensibilité d'absorption pour chacun des photopigments. (5)

Les trois photopigments captent les photons avec une probabilité d'absorption différente selon les longueurs d'onde. Les réponses spectrales résultantes sont larges avec un maximum de sensibilité pour une longueur d'onde donnée.

Par exemple, un cône M sensible au vert est stimulé par des longueurs d'onde variables allant du bleu au rouge, mais son maximum d'absorption correspond aux longueurs d'onde de 530 nm (vert).

De ces mesures photométriques résultent trois courbes « d'efficacité lumineuse relative » spécifiques au type de photopigment contenu dans les cônes. Ces trois courbes apparaissent décalées les unes par rapport aux autres dans le spectre lumineux visible.



**Figure 4 :**  
Courbes d'absorption des trois types de cônes selon la nature de leur photopigment.

*Adapté par Dartnall (4)*

Ces trois courbes de sensibilité spectrale sont à la base du trichromatisme rétinien. Chacune des tonalités est perçue comme le mélange additif en proportion choisie des trois couleurs primaires : le bleu, le vert et le rouge.

Concernant la distribution spatiale des cônes, chaque catégorie a sa propre répartition sur la rétine centrale. Les cônes S, les moins nombreux, ne représentent que 10% de la population totale des cônes. (6) La grande majorité des cônes S sont présents en zone maculaire sur les 12 degrés centraux. (7) Ces cônes sont fragiles et sensibles, et toute

perturbation rétinienne (toxique, vasculaire, ect) (8) se traduira précocement par une atteinte de la vision des couleurs. Les 90% des cônes restant représentent les cônes L et M avec une proportion relative qui dépend de chaque individu. (9) En moyenne 60% des cônes contiennent le photopigment L et 30% des cônes contiennent le photopigment M.(10, 11)

#### **2.1.4. Transmission de l'information colorée**

La vision des couleurs nécessite non seulement des photorécepteurs fonctionnels, mais également des milieux intraoculaires transparents et des voies neurologiques visuelles normales.

L'ensemble des informations visuelles est transmis le long des voies optiques sensorielles, extra-cérébrales puis cérébrales. Au terme de ce cheminement, ces dernières sont intégrées au niveau de l'aire 17 de Brodmann (ou V1) du cortex occipital. (12) À ce niveau, ce sont des îlots de cellules sensibles à la couleur dénommés *les blobs* qui réalisent l'intégration finale de l'information chromatique. (13) Il n'existe donc pas de centre chromatique cérébral à proprement parler.

Au niveau intra-rétinien, l'influx nerveux généré par la transduction visuelle est transmis des cônes aux cellules bipolaires, qui à leur tour le transmettent aux cellules ganglionnaires et à leurs axones.

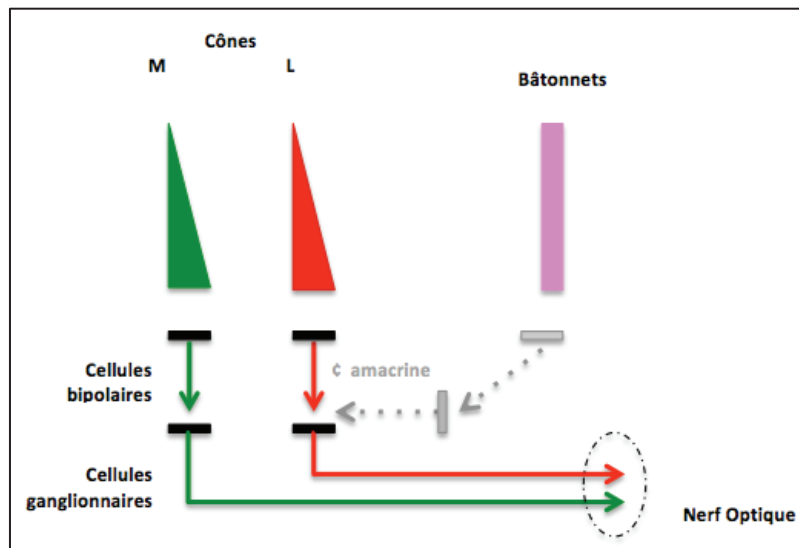
Ils existent 3 sous-types de cellules ganglionnaires définissant les trois voies primaires du système visuel :

- les cellules ganglionnaires de type  $\beta$  ou « cellules naines » forment **la voie P** (Parvocellulaire). Elles constituent 80% des fibres du nerf optique.

- Les cellules ganglionnaires de type  $\alpha$  ou « cellules parasols » forment **la voie M** (Magnocellulaire). Elles constituent 20% des fibres du nerf optique.
- Les cellules ganglionnaires de type  $\gamma$  forment **la voie K** (Koniocellulaire). Elles constituent moins de 1% des fibres du nerf optique.

**La voie P**, en ambiance photopique, véhicule les informations colorées directement issues des cônes L et M, en conservant la séparation des messages provenant de chacun des deux types de cônes. Elle fait synapse aux couches parvocellulaires des corps géniculés latéraux puis se termine au niveau des couches 4C de l'aire visuelle V1 du cortex occipital. C'est la nature dichotomique de la voie P qui est à l'origine de **l'antagonisme rouge-vert**.

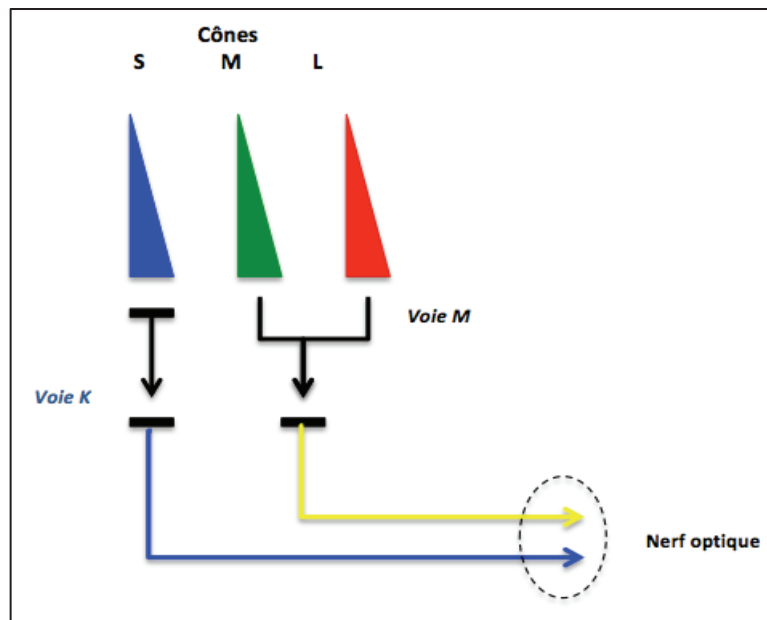
Lors du passage en ambiance scotopique, la voie P transmet également de manière indirecte les informations visuelles issues des bâtonnets par l'intermédiaire des cellules amacrines.



**Figure 5 :**

**Voie Parvocellulaire à l'origine de l'antagonisme « Rouge - Vert ».**

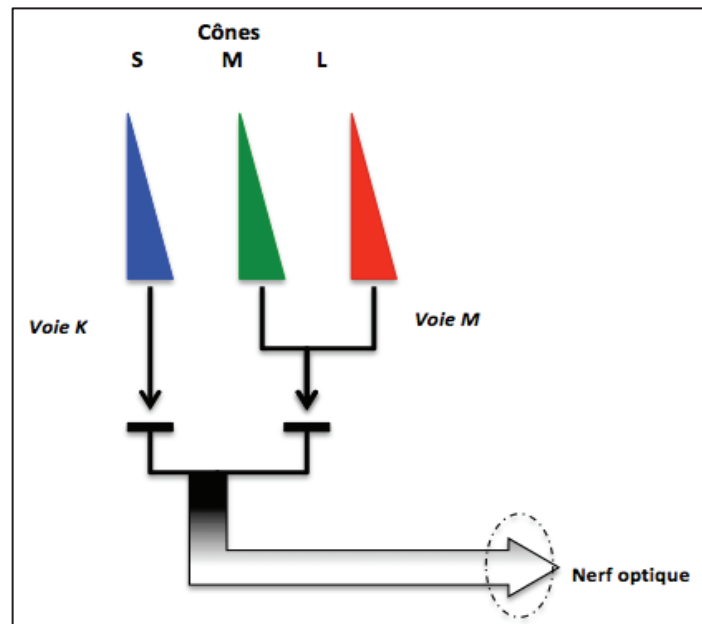
**La voie K** véhicule en ambiance photopique les informations directement issues des cônes S. **La voie M**, quant à elle, recueille les informations issues conjointement des cônes L et M sans en faire la distinction. Le mélange des longueurs d'onde codées par les cônes L et M correspond à une sensation de jaune. Les voies K et M sont ainsi à l'origine de **l'antagonisme bleu-jaune** du fait de la transmission des informations issues des cônes S d'une part, et celles issues de la fusion des cônes L et M d'autre part.



**Figure 6 :**

**Voie Magnocellulaire et Voie Koniocellulaire à l'origine de l'antagonisme « Bleu – Jaune ».**

De plus, la voie K reçoit des informations indirectes provenant des cônes L et M. La conjugaison des informations colorées issues des trois types de cônes est à l'origine de **l'antagonisme blanc-noir**, encore dénommé canal de luminance.



**Figure 7 :**

**Voie Magnocellulaire et Voie Koniocellulaire à l'origine de l'antagonisme « Blanc - Noir ».**

La voie M se termine dans la couche C4 de l'aire visuelle V1 du cortex occipital. La voie K quant à elle se termine dans la couche C2 de l'aire visuelle.

Une fois l'ensemble des informations neurosensorielles transmises au cortex visuel, trois étapes sont nécessaires pour aboutir à la perception chromatique:

- Identification des différentes longueurs d'onde et de leur intensité au niveau des aires visuelles primaires V1 et V2.
- Perception des couleurs au niveau des aires extra-stratifiées V4 du cortex occipito-temporal.
- Reconnaissance et mémorisation des couleurs au niveau du cortex frontal et temporal.

## **2.1.5. Facteurs de variation intrinsèque de la perception colorée**

### **2.1.5.1. L'âge**

C'est le principal facteur physiologique modulant la perception chromatique.

Chez le petit enfant, la vision des couleurs est rapidement fonctionnelle (dès l'âge de 6 semaines). (14)

Les facultés discriminatives colorées augmentent ensuite progressivement pour atteindre un maximum chez le jeune adulte (20-25 ans), puis elles commencent à s'altérer au delà de 30 ans ; (2)

- Le cristallin en augmentant sa densité optique entraîne un déplacement des courbes « d'efficacité lumineuse relative » vers les courtes longueurs d'onde (effet de mésopisation) (2).
- L'involution sénile modifie les seuils différentiels de tonalité, les seuils de saturation et les seuils photopiques.
- Le myosis sénile provoque une certaine mésopisation à partir de 2 mm environ (Larowski), alors qu'une mydriase peut améliorer certaines performances (Ourgaud).
- La diminution de la discrimination bleu-vert avec l'âge n'est pas seulement liée à la réduction globale de l'éclairement rétinien (conséquence du jaunissement cristallinien et du diamètre pupillaire) elle est également en partie liée à une perte de sensibilité de la voie parvocellulaire des cônes S, plus affectée par l'âge que la voie magnocellulaire.(15)

### **2.1.5.2. Les amétropies fortes**

Elles modifient peu la vision chromatique.

Seules les myopies fortes avec atrophie chorio-rétinienne entraînent des modifications acquises des perceptions colorées.



## **2.2. PHYSIOPATHOLOGIE DES DYSCHROMATOPSIES**

La vision colorée normale correspond au trichromatisme rétinien Bleu, Vert et Rouge.

Toute perception colorée pathologique est qualifiée de dyschromatopsie.

Les dyschromatopsies sont classées en deux grands groupes : les dyschromatopsies congénitales et les dyschromatopsies acquises.

Chacune d'entre elles relèvent de mécanismes physiopathologiques bien spécifiques.

### **2.2.1. Génétique des photopigments**

C'est en 1986 que Nathans et ses collaborateurs isolent les gènes codant pour les opsines des trois photopigments des cônes rétiniens (16).

Mais c'est bien plus tôt, au début du XXe siècle, que Wilson précise le mode de transmission des gènes en cause dans le daltonisme. Il est le premier à établir que la transmission génétique est récessive liée au sexe.

Grâce à ces différents travaux génétiques, il a donc été possible de définir les loci chromosomiques pour chacun des trois gènes codant pour les opsines.

Le gène codant pour le photopigment S est porté par le chromosome 7 (locus 7q 31-32).

(17) Les gènes codant pour les photopigments L et M sont situés sur le chromosome X (locus Xq-28). Ces deux derniers gènes, bien que présents sur le même chromosome, sont deux gènes différents codant chacun pour une opsine spécifique. Ils sont placés en tandem, le gène L étant situé en amont du gène M.

L'achromatopsie n'est pas liée à une anomalie des pigments visuels, qui sont présents et normaux, mais à une anomalie d'une des étapes de la transduction visuelle. Les gènes mutés correspondants sont portés par les chromosomes 2 (locus 2q 11q-12) et le chromosome 8 (8q-23).

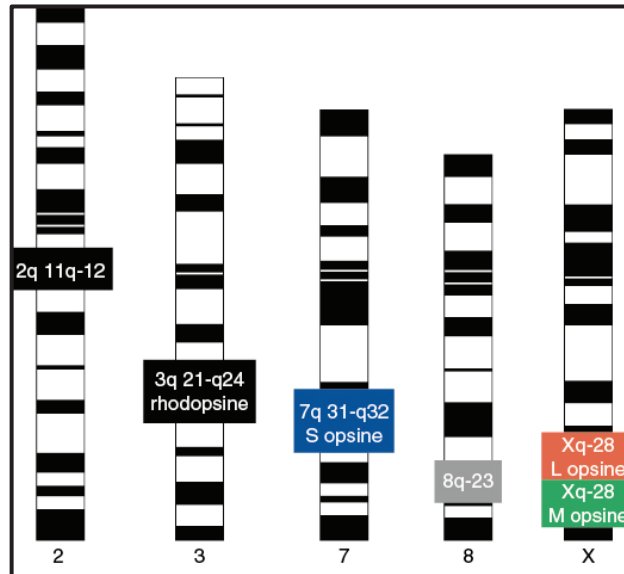


Figure 8 :

Gènes codant pour les opsines des photopigments. (2)

### 2.2.2. Les Dyschromatopsies Congénitales (18)

Les dyschromatopsies congénitales sont des anomalies constitutionnelles des photopigments des cônes rétiniens.

Contrairement aux dyschromatopsies acquises, elles ne résultent pas d'une modification pathologique ou lésionnelle, mais d'un défaut partiel ou complet d'un ou plusieurs photopigments.

### 2.2.2.1. Définitions

Le défaut partiel d'un photopigment correspond à un **trichromatisme anormal** et est qualifié d'« **anomalie** ».

L'absence complète de ce même photopigment correspond à un **dichromatisme** et est qualifiée d'« **anopie** ».

Si l'anomalie génétique affecte **les cônes L** (déficit en rouge), la dyschromatopsie est dite de type **protan** (de *un* en grec) : Protanomalie pour le trichromatisme anormal et protanopie pour le dichromatisme.

Si l'anomalie génétique affecte **les cônes M** (déficit en vert), la dyschromatopsies est dite de type **deutan** (de *deux* en grec) : Deutéranomalie pour le trichromatisme anormal et deutéranopie pour le dichromatisme.

Si l'anomalie génétique affecte **les cônes S** (déficit en bleu), la dyschromatopsie est dite de type **tritan** (de *trois* en grec) : Tritanomalie pour le trichromatisme anormal et tritanopie pour le dichromatisme.

Enfin, l'absence de deux types de photopigment ou plus correspond au **monochromatisme** et à l'**achromatopsie**. Dans ces deux derniers cas, la vision des couleurs est impossible, seuls seront perçues des nuances de luminosité.

Dans le monochromatisme à cônes S, les deux gènes codant pour les photopigment L et M sont inopérants. Seuls les photopigments S sont fonctionnels. La perception colorée est ici déficitaire par défaut d'antagonisme spectral entre au moins deux types de photopigments.

Dans l'achromatopsie, comme précisé précédemment, il s'agit d'un dysfonctionnement des cônes par altération d'une étape de la transduction visuelle. Dans ce cas, les trois types de photopigment sont présents et normaux, mais c'est un défaut d'activation moléculaire qui est à l'origine de la pathologie. (19)

**Le daltonisme** désigne exclusivement les dyschromatopsies héréditaires liées à une anomalie du chromosome X et inclut donc les trichromatismes anormaux protan et deutan, les dichromatismes protan et deutan, et les monochromatismes à cônes S.

Enfin, la sensibilité chromatique atténuée ou « **low discrimination** » correspond aux sujets présentant une discrimination colorée diminuée sans support génétique retrouvé. Cette anomalie à minima peut s'expliquer par la variation de la densité et de la répartition des différents types de cônes maculaires d'un individu à un autre.

#### 2.2.2.2. Épidémiologie

Les dyschromatopsies héréditaires ont une distribution variable dans la population générale. Leur fréquence fluctue selon le type de population étudiée.

Concernant la population d'origine caucasienne : (20, 21)

- Le daltonisme (ou dyschromatopsie liée à l'X) touche 8% à 10% des hommes et 0,4 à 0,5 % des femmes.
- L'anomalie la plus fréquente au sein de la population européenne est la deutéranomalie (5-6%).
- Les dyschromatopsies de type tritan sont beaucoup plus rares. Leur fréquence est évaluée de 0,002 à 0,007% dans la population générale.

- Les monochromatisme et les achromatopsies sont elles aussi exceptionnelles : leur fréquence est évaluée à 0,002 % dans la population générale.
- La proportion des femmes conductrices hétérozygotes porteuse de mutation génétique sur leur chromosome X varie de 15 à 20%.

### 2.2.2.3. Mode de transmission héréditaire (22)

C'est la localisation des gènes de chacun des photopigments qui détermine le mode d'hérédité des dyschromatopsies.

Ainsi, l'hérédité génétique est définie comme :

- **Récessive liée à l'X** pour les dyschromatopsies congénitales protan et deutan.
- **Autosomale dominante à pénétrance variable** pour les dyschromatopsies congénitales tritan,
- **Autosomale récessive** pour l'achromatopsie,
- **Récessive liée à l'X** pour le monochromatisme à cônes S.

### 2.2.2.4. Caractéristiques générales

Les dyschromatopsies congénitales sont des anomalies primitives.

Ce sont des pathologies bilatérales et symétriques dans la majorité des cas, non évolutives, et isolées.

À l'exception des achromatopsies, elles n'impliquent pas les autres fonctions visuelles.

Les sujets dyschromates ne sont pas conscients de leur anomalie. Ils le deviennent que par confrontation aux sujets normaux, et notamment aux références colorées que ceux-ci ont établies.

		Photopigment			Fréquence %		Hérédité
		S	M	L	H	F	
Trichromatisme Normal		Normal	Normal	Normal	-	-	-
Trichromatisme Anormal	Protanomalie	Normal	Normal	Anormal	1,08	0,03	RX
	Deutéranomalie	Normal	Anormal	Normal	4,63	0,38	RX
Dichromatisme	Protanopie	Normal	Normal	Absent	1,01	0,02	RX
	Deutéranopie	Normal	Absent	Normal	1,27	0,01	RX
	Tritanopie	Absent	Normal	Normal	0,0015	0,0015	AD
Monochromatisme à cônes S		Normal	Absent	Absent	0,002	1 / 10 <sup>10</sup>	RX
Achromatopsie		Absent	Absent	Absent	0,002	0,002	AR

RX : récessif lié à l'X, AD : autosomique dominant, AR : autosomique récessif

**Tableau 2 :**

**Différentes catégories de dyschromatopsies héréditaires et leur fréquence dans la population. (23)**

### **2.2.3. Les Dyschromatopsies Acquises**

Les dyschromatopsies acquises sont des anomalies secondaires de la vision des couleurs. Elles résultent d'une atteinte lésionnelle acquise à un ou plusieurs niveaux de la voie visuelle codant le sens chromatique.

Ces lésions peuvent siéger au niveau :

- Des processus pré-réceptoraux : modification des milieux transparents oculaires.
- Des processus réceptoraux : pathologie rétinienne proprement dite avec phénomène de mésopisation, scotopisation et de distorsion.
- Des processus post-réceptoraux : pathologie du nerf optique, des voies de transmissions visuelles, du cortex visuel, et troubles cognitifs.

#### **2.2.3.1. Mécanismes physiopathologiques (24)**

Les dyschromatopsies acquises sont caractérisées par une grande diversité dans leurs manifestations cliniques.

On note une prédominance des atteintes d'axe bleu-jaune. Ceci s'explique par une vulnérabilité toute particulière des cônes S et des cellules ganglionnaires de la voie K.

Les mécanismes physiopathologiques en cause sont multiples. Tout phénomène toxique, inflammatoire, dégénératif ou vasculaire pourra entraîner un dysfonctionnement des cônes et des voies cellulaires leurs faisant synapses.

Par ailleurs, certaines modifications physiologiques liées à l'âge, tel que l'opacification cristallinienne, et l'altération des filtres endoculaires pré-réceptoraux, modifient le

spectre d'absorption lumineux rétinien.

### 2.2.3.2. Classification

Les déficiences acquises de la vision des couleurs peuvent schématiquement se diviser en trois catégories : (Hans Köllner 1902)

- **Les achromatopsies** : distorsion globale de la perception colorée d'origine oculaire, neurosensorielle périphérique ou centrale.
- **Les dyschromatopsies centrales acquises** : trouble d'origine central cortical regroupant les hallucinations colorées, les hallucinoses colorées et les troubles gnosiques de la perception colorée.
- **Les dyschromatopsies d'axe acquises** : modification des milieux transparents oculaires, trouble du fonctionnement rétinien ou des voies visuelles.

C'est Verriest qui dans les années 1950 proposa une classification des dyschromatopsies acquises en quatre grands types par analogie avec les dyschromatopsies héréditaires : [\(25-27\)](#)

Type de déficit	Orientation pathogénique	Orientation étiologique
Type I Ou Déficit Rouge-Vert de type I	Atteinte des cônes L et M centraux	Dégénérescences maculaires
Type II Ou Déficit Rouge-Vert de type II	Atteinte des cellules ganglionnaires rétro-laminaires	Neuropathies optiques
Type III Ou Déficit bleu-jaune	Atteinte des cônes S Atteinte de la voie K Mésopisation de la vision photopique Pathologie de transparence des milieux	Rétinopathies Glaucome Cataracte
Type IV Ou Sans axe ou d'axe scotopique	Variable	Variable

**Tableau 3 :**

**Classification des dyschromatopsies acquises. selon Verriest 1950.**



#### **2.2.3.3. Épidémiologie**

Les dyschromatopsies acquises sont fréquentes. Leur fréquence est estimée à 6% de la population française globale. (2)

#### **2.2.3.4. Caractéristiques générales**

Les dyschromatopsies acquises sont des anomalies secondaires de la vision des couleurs.

Il peut s'agir d'atteintes unilatérales ou bilatérales asymétriques. Ce sont des pathologies évolutives dans le temps, qui sont accompagnées d'autres signes fonctionnels oculaires ou généraux.

Les patients sont conscients de leur déficit. Ils ressentent une modification de leur perception colorée avec une impression de couleurs « délavées ».

Dans la majorité des cas, l'apparition d'une dyschromatopsie acquise représente le signe d'alerte précoce d'un dysfonctionnement oculaire débutant. Elle précède très souvent une variation sensible de l'acuité visuelle. En cas d'efficacité thérapeutique, la fonction colorée sera toujours la dernière à récupérer.

## **2.3. TESTS D'EXPLORATION CLINIQUE DE LA VISION DES COULEURS**

Il existe une très grande variété de tests dans l'exploration clinique de la perception chromatique. Leur principal objectif est de mettre en évidence les dyschromatopsies d'origine héréditaire ou acquise.

Comme tout examen de la fonction visuelle, l'examen de la vision des couleurs est un examen subjectif dont les résultats sont dépendants de la compréhension et de la coopération du patient.

Schématiquement, ces tests peuvent être scindés en deux grands groupes.

Tout d'abord les tests de dépistage qui détectent les dyschromatopsies. Ensuite les tests diagnostiques qui déterminent l'axe, le type et l'importance des dyschromatopsies.

Pour une dyschromatopsie donnée, chacun des tests possède sa propre sensibilité et spécificité, il est donc souvent nécessaire de combiner plusieurs examens afin d'obtenir un diagnostic précis, de quantifier une anomalie et de suivre son éventuelle évolution.

### **2.3.1. Principes**

Pour comprendre les principes inhérents à chaque type de test, il faut d'une part comprendre les particularités du spectre chromatique vu par les sujets daltoniens, et d'autre part rappeler les caractéristiques du système chromatique tridimensionnel de Munsell.

### 2.3.1.1. Système colorimétrique de Munsell

Albert H. Munsell a décrit au début du XXe siècle un système d'identification des couleurs permettant de classer dans un volume en trois dimensions l'ensemble des couleurs du spectre chromatique selon trois paramètres :

- La **tonalité** ou teinte (HUE),
- La **luminosité** ou clarté (VALUE),
- La **saturation** ou pureté chromatique (CHROMA).

Cette classification peut être représentée sous forme d'un diagramme simple basé sur la notion d'égalité des intervalles sensoriels entre 2 couleurs adjacentes.

La majorité des tests pigmentaires utilisent les couleurs issues de l'album de Munsell.

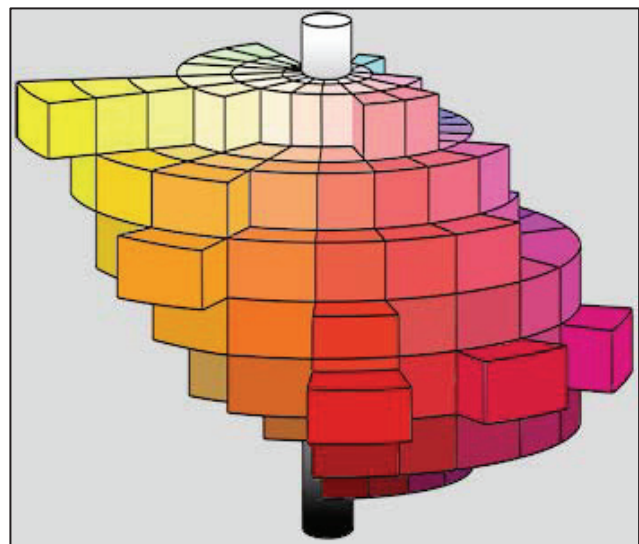
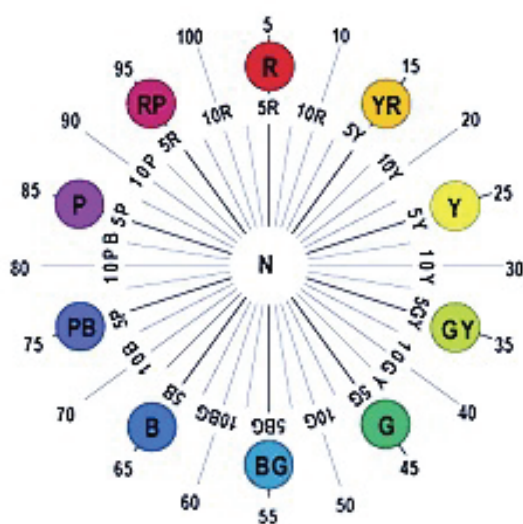
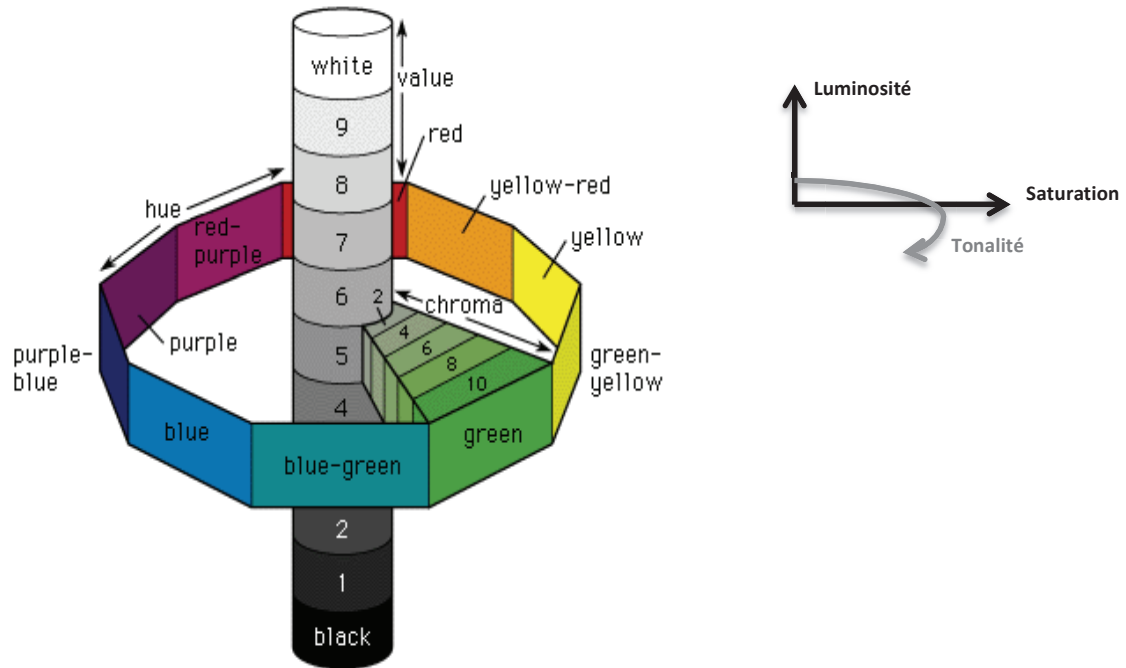


Figure 9 et 10 :

Nuancier et système trichromatique selon Munsell.



**Figure 11 :**

**Arbres chromatique selon Munsell.**

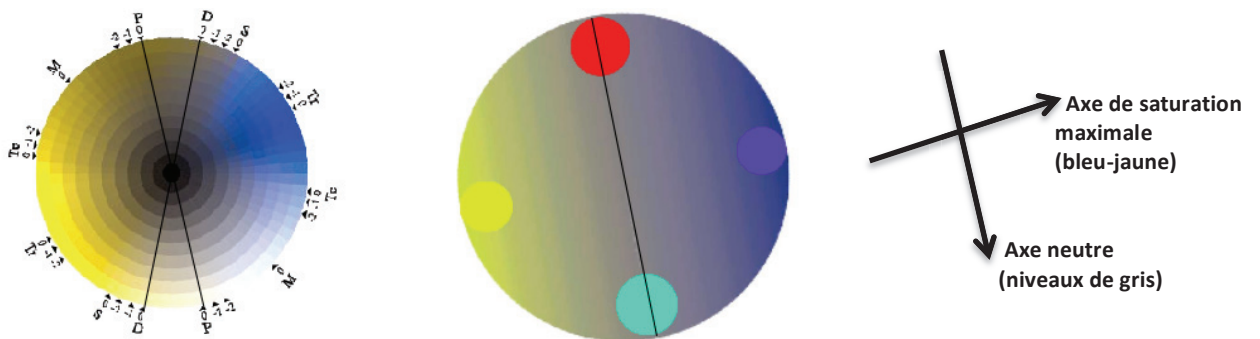
### 2.3.1.2. Le spectre chromatique des dyschromates

Les dyschromatopsies, qu'elles soient héréditaires ou acquises, se caractérisent par l'existence d'une (ou plusieurs) **zone(s) neutre(s)** dans le spectre chromatique. Ces zones neutres correspondent à des zones dans lesquelles le patient n'a aucune discrimination colorée, c'est à dire que toutes les couleurs existantes dans cet espace sont des nuances de gris. D'un point de vue physique, cela correspond à un intervalle de longueurs d'onde où la probabilité d'absorption entre les photopigments restants est identique. Il n'y a plus d'antagonisme de couleur, ce qui se traduit par une sensation visuelle achromatique.

Parallèlement aux zones neutres se situent les lignes de **confusion colorée**. En effet, les dyschromates peuvent avoir une même sensation de couleur alors que les longueurs d'onde absorbées sont différentes. D'un point de vue physique, cela correspond à une même probabilité d'absorption pour un couple de longueurs d'onde distinctes et situées

de part et d'autre du maximum d'absorption d'un photopigment. Ceci aboutit à des perceptions chromatiques identiques, et les couleurs sont confondues par couple de deux. Ces confusions chromatiques sont orientées selon des axes bien spécifiques et caractéristiques du type de dyschromatopsie. C'est ainsi que, pour exemple, appliqué aux deutéranopies, il existe une confusion colorée entre le rouge et le vert.

La deuxième zone caractéristique du spectre chromatique d'un dyschromate est la **zone de saturation maximale**. Il s'agit de la zone regroupant les couleurs perçues par le sujet situées sur un axe perpendiculaire à l'axe de la zone neutre. Comme pour les confusions chromatiques, les couleurs de saturation maximale sont orientées selon un axe caractéristique du type de dyschromatopsie.



**Figure 12 :**  
**Spectre chromatique d'un protanope**  
 avec les zones neutres et les zones de saturation maximale correspondantes.  
*(Dr Ionica).*

Dans l'exploration clinique de la vision des couleurs, ce sont les confusions de tonalités qui sont mises à profit. La majorité des tests évaluent directement ou indirectement la

sensibilité par tonalité, et déterminent le type de dyschromatopsie selon l'orientation des axes de confusion obtenus.

Un autre paramètre indispensable dans l'exploration de la vision des couleurs est la **quantification du déficit chromatique**. L'analyse de cette variable requiert l'exploration des tonalités d'un axe selon différents degrés de saturation.

Les tests de classement et de confusion utilisent un seul niveau de saturation. Par conséquent, ils ne permettent pas de quantifier le déficit chromatique. En revanche, ils en estiment l'intensité en fonction du nombre d'erreurs effectuées.

Les tests spectraux quant à eux emploient différents niveaux de saturations, ce qui leur permet de quantifier précisément la déficience colorée.

Nous pouvons ainsi classer les principaux tests d'exploration de la vision des couleurs en trois catégories :

- **Les tests de confusion** utilisant des couleurs pigmentaires (planches pseudo isochromatiques de Ishihara) ;
- **Les tests de classements ou d'assortiment** utilisant également des couleurs pigmentaires (test 15 Hue standard de Farnsworth, Test 15 Hue désaturé de Lanthony, test 100 Hue de Farnsworth Munsell) ;
- Les **colorimètres** utilisant des couleurs spectrales (anomaloscopes).

Les deux premières catégories sont les plus pratiquées en France.

Les colorimètres quant à eux sont malheureusement moins disponibles malgré leur haute performance dans le diagnostic qualitatif et quantitatif des dyschromatopsies. Cette caractéristique sera développée ultérieurement au paragraphe *2.3.3.3 les anomaloscopes*.

## **2.3.2. Modalités de réalisation**

Certaines conditions d'examens peuvent modifier les paramètres testés et donc influencer les réponses du patient. Les tests de la vision des couleurs doivent donc être pratiqués dans des conditions rigoureuses. (28)

### **2.3.2.1. L'éclairage**

L'éclairage joue un rôle essentiel pour le rendu des couleurs pigmentaires. (29)

Le respect de certaines conditions d'éclairage est donc indispensable lors de la réalisation des tests.

En effet, la lumière est un facteur déterminant pour les paramètres chromatiques, et une même couleur peut être perçue très différemment selon le type d'éclairage.

Dans des conditions de référence, le patient doit être testé sous un éclairage le plus proche possible de la lumière du jour, c'est à dire sous une lumière du soleil en exposition Nord, vers 10h du matin. Ces conditions d'examen sont extrêmement contraignantes, et la majorité des cliniciens utilisent un éclairage artificiel. Pour être convenable, la source lumineuse artificielle utilisée doit correspondre à l'illuminant D65 de la Commission Internationale de l'Éclairage. (30) (31)

Pour évaluer la qualité d'une source lumineuse, il faut tenir compte de différents paramètres :(32)

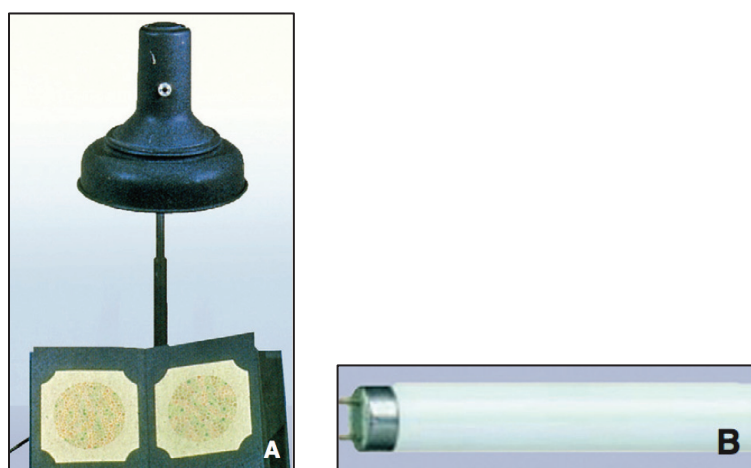
- **La température de couleur** : il s'agit de la couleur apparente émise par la source lumineuse. Elle s'exprime en degré Kelvin ( $0^{\circ}\text{K} = -273^{\circ}\text{C}$ ). L'éclairage artificiel utilisé lors des tests doit correspondre à une température de couleur de  $6\,500^{\circ}$  Kelvin.
- **L'indice de rendu des couleurs** : il représente la capacité d'une lampe à restituer les différentes couleurs des objets qu'elle éclaire. Il varie entre 0 et

100. Plus l'indice est élevé, et plus la qualité de la source lumineuse est importante.

- **L'éclairage de la source lumineuse** : il s'agit de l'intensité d'une source lumineuse exprimée en lux. Il devra être suffisant pour initier la vision photopique, sans être pour autant éblouissant. Selon la Commission Internationale de l'Éclairage, l'intensité lumineuse doit être au minimum de 300 lux.

En pratique clinique, la lampe de référence est celle d'*Easel Macbeth* (1923). C'est une lampe dont le spectre lumineux très proche de la lumière naturelle est obtenu par filtration de la lumière issue d'une simple lampe à incandescence. Cependant, son coût et sa faible disponibilité limitent son utilisation.

Actuellement, ce sont les lampes fluorescentes qui sont le plus couramment utilisées car elles présentent un grand indice de rendu de couleur (IRC 95) avec une température de couleur de 6500° K et un éclairage de 300 à 500 lux.



**Figure 13 A et B : Éclairage des tests pigmentaires.**

**A : Lampe d'Easel Macbeth.**

**B : Tube fluorescent.**



### **2.3.2.2. Le sujet**

Une correction optique optimale est indispensable pour la réalisation des tests.

Les verres teintés sont prohibés car ils modifient la perception des couleurs.

La durée de présentation de chaque examen doit être raisonnable pour limiter les retours multiples sur les choix initiaux.

### **2.3.2.3. L'environnement**

La pièce d'examen doit être calme.

Le plan de travail de couleur mate neutre, afin d'éviter les reflets et les phénomènes de contrastes simultanés pouvant modifier significativement les résultats du test.

## **2.3.3. Les principaux tests de la vision des couleurs (33)**

### **2.3.3.1. Les planches pseudo-isochromatiques**

Il s'agit de tests pigmentaires dont le plus largement utilisé reste le *test d'Ishihara*.

Chaque planche est composée d'une mosaïque de pastilles dessinant un motif d'une certaine association de couleurs sur un fond d'une autre association de couleurs.

Le principe de ces tests est basé sur la confusion colorée : un sujet dyschromate ne peut reconnaître deux tonalités distinctes situées sur les lignes de confusion de son anomalie.

Ce sont donc des tests qui sont élaborés à partir d'un déficit chromatique connu, et ils ne pourront révéler uniquement les dyschromatopsies pour lesquelles ils ont été conçus, et seulement celles-ci.

À noter que le test d'Ishihara comporte exclusivement des planches d'axe rouge-vert.

Faire ce test pour rechercher une dyschromatopsie acquise est donc rarement pertinent.

Les tests pseudo-isochromatiques sont des tests rapides, faciles de réalisation dont l'indication principale reste le dépistage des dyschromatopsies héréditaires. De tels tests permettent de dépister au moins 95% des cas de daltonisme. (34) Ils sont cependant insuffisants pour un diagnostic précis de l'axe et du degré du déficit chromatique.



**Figure 14 :**

**Planches pseudo-isochromatiques de Ishihara.**

### **2.3.3.2. Les tests d'assortiment ou de classement**

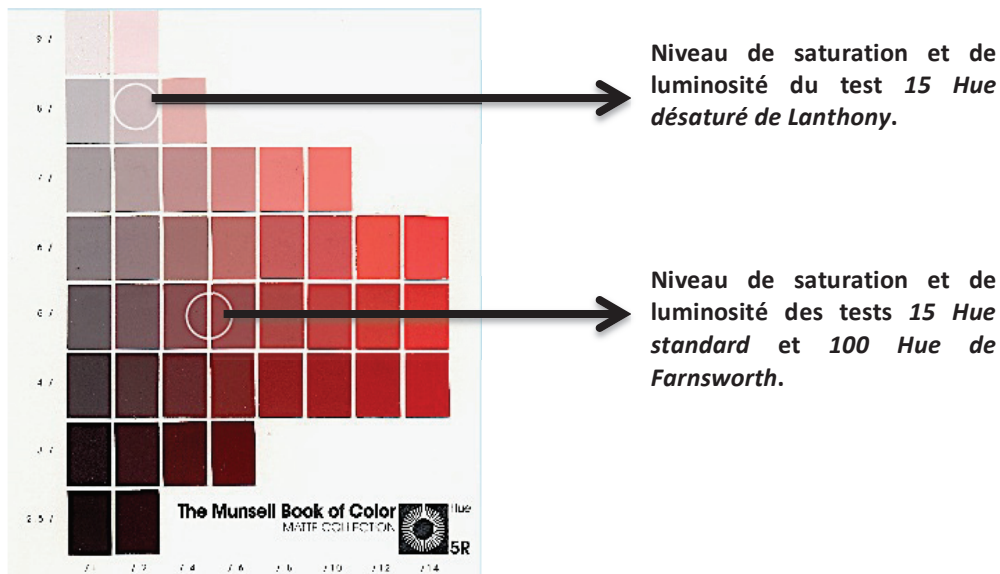
Il s'agit de tests pigmentaires basés sur l'appariement de pions colorés numérotés permettant d'identifier directement les axes de confusion des dyschromatopsies.

Chacun de ces tests est donc composé de pastilles qui se différencient uniquement par leur tonalité, car pour un même test, elles auront toutes le même niveau de saturation et de luminosité.

Le sujet doit classer les pions libres dans l'ordre des tonalités à partir d'une couleur de référence fixe dans le plumier.

Ils existent 3 principaux tests de classement : le 100 Hue de Farnsworth, le 15 Hue désaturé de Lanthony et le 15 Hue standard de Farnsworth.

Chacun de ces tests se distinguent par le nombre et les espaces chromatiques entre les pions, les niveaux de saturation et les niveaux de luminosité.



**Figure 15 :**

**Tonalité « rouge 5 » de l’album de Munsell :**

**Niveaux de saturation et niveaux de luminosité en fonction des tests de classement.**

**a. Le 15 hue standard de Farnsworth**

Ce test est composé de 15 pions mobiles de couleurs franches bien saturées prédominantes dans les axes rouges-vert (« chroma » 4 et « value » 5). Les tonalités varient de telle sorte que deux pions adjacents ont des teintes suffisamment espacées pour qu’il n’y ait pas d’erreurs de contiguïté, mais uniquement des erreurs de confusion d’axe. Il s’agit d’un test rapide, facile de réalisation dont l’indication principale reste le diagnostic des dyschromatopsies héréditaires en identifiant l’axe, et dans une certaine mesure l’intensité du déficit. En revanche, ils restent cependant insuffisants pour le diagnostic des dyschromatopsies acquises débutantes.

b. Le 15 Hue désaturé de Lanthony

Il s'agit d'une variante du 15 Hue standard qui utilise 15 pions mobiles dont les couleurs sont désaturées et davantage lumineuses (« chroma » 2 et « value » 8). Le test est par conséquent plus sensible, et donc mieux adapté au diagnostic des dyschromatopsies acquises débutantes et au trichromatisme anormal léger à modéré.

En revanche, la plus grande proximité chromatique entre les pions augmente le nombre de faux positifs, et la difficulté du test qui devient moins adapté aux jeunes enfants. Par ailleurs, comme pour le 15 Hue standard, il existe très peu de couleurs situées à proximité de l'axe tritan. Par conséquent, les axes de confusion des dyschromatopsies acquises bleu-jaune se trouvent souvent décalés par rapport à l'axe tritan. C'est pourquoi Lanthony a intégré un 4<sup>e</sup> axe : l'axe tetartan qui permet de décrire le plus finement possible ces dyschromatopsies. Il faut cependant comprendre que cet axe n'a pas de sens physiologique, mais reste utile dans l'interprétation des résultats du test.

Le 15 Hue désaturé de Lanthony est donc un test rapide, adapté au diagnostic de tous les types de dyschromatopsies qui permet d'estimer l'intensité du déficit sans pour autant le quantifier précisément. En revanche, il demeure peu adapté aux jeunes enfants.

c. Le 100 Hue de Farnsworth

Il s'agit du test de classement le plus élaboré. Il a été créé en 1943 par Farnsworth. Initialement composé de 100 pions il a ensuite été réduit à 85. Les pions sont répartis en 4 séries différentes contenues dans 4 plumiers distincts. Tous les pions ont des niveaux de saturation et de luminosité intermédiaires identiques (« chroma » 4 et « value » 5). Le classement des pions se fait plumier par plumier. Ici ne peuvent donc être mis en évidence que des erreurs de proximité et non pas des erreurs de confusion d'axe. L'axe de la dyschromatopsie est ensuite déduit à partir de la représentation graphique des

résultats comme étant la droite perpendiculaire aux pics de déficits en sensibilité les plus importants, correspondant à l'axe perpendiculaire à la zone de saturation maximale.

Le test 100 Hue de Farnsworth est donc le test de classement « universel » capable de diagnostiquer tout type de dyschromatopsie. Sa principale limite reste sa durée d'examen rendant son utilisation contraignante.

### **2.3.3.3. Les anomaloscopes**

Il s'agit des tests les plus élaborés dans l'exploration de la vision des couleurs. Ce sont des colorimètres qui mesurent les seuils de perception chromatique obtenus par mélange additif de couleurs spectrales.

Le principe du test est de réaliser des égalisations colorées entre deux plages lumineuses juxtaposées observées à travers un oculaire. C'est le principe des équations colorées métamériques.

L'une des plages est la plage de référence et correspond à une lumière spectrale monochromatique de longueur d'onde parfaitement définie. L'autre plage correspond au mélange simultané de deux lumières monochromatiques qui sont vue par le sujet comme un mélange chromatique additif. Le sujet peut régler la proportion du mélange pour que la couleur ainsi obtenue lui paraisse identique à celle de référence. Peuvent également être modulés les niveaux de saturation et de luminosité.

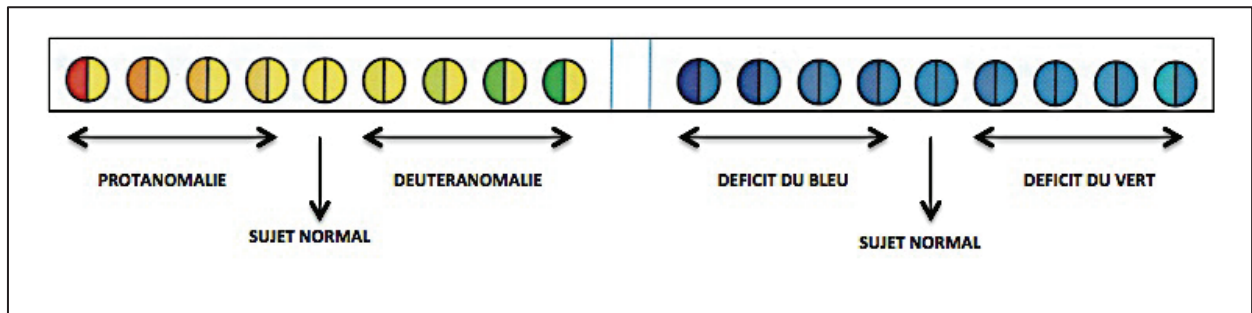
L'ensemble du spectre chromatique peut être évalué à partir de deux équations colorimétriques :

- L'équation de *Rayleigh* explore les moyennes et grandes longueurs d'onde, et qui se traduit selon la formule :

Rouge (671 nm) + vert (545 nm) = jaune (589 nm).

- L'équation de *Moreland* explore les courtes longueurs d'onde et qui se traduit selon la formule :

Violet (436 nm) + bleu-vert (490 nm) = bleu (480 nm).



**Figure 16 :**

**Diagnostic des dyschromatopsies selon le principe des deux équations colorées (*Rayleigh et Moreland*).**

Le test est qualifié d'anormal si la zone d'égalisation est élargie et/ou si le point moyen d'égalisation est déplacé.

Prenons pour exemple un sujet trichromate anormal de type protanomal : il devra mettre plus de rouge dans son mélange chromatique pour aboutir à l'égalité sensorielle. À l'inverse, un sujet deutéranomal devra quant à lui mettre plus de vert.

L'anomaloscope est donc l'examen « gold standard » dans l'exploration de la vision des couleurs. Il tient cette place d'excellence car il est le seul à qualifier et quantifier toutes les catégories de dyschromatopsies, et à différencier avec certitude les dichromatismes des trichromatismes anormaux. Sa principale limite est son manque de disponibilité en France où les tests pigmentaires occupent une place prépondérante dans la pratique

clinique. Ils sont utilisés dans certains centres d'aptitude et d'ergonomie professionnelles, ainsi que dans les centres de recrutement de l'armée.

#### **2.3.4. Stratégies d'examen (35)**

Pour les dyschromatopsies héréditaires, le premier dépistage s'effectue grâce aux tests pseudo-isochromatiques tel que le test d'Ishihara. Par la suite, un complément d'exploration est nécessaire afin de confirmer et de préciser le déficit chromatique. Peuvent être utilisés les tests de classement saturés simples tels que le 15 Hue standard. En cas de doute, l'utilisation de l'anomaloscope (équation de Rayleigh explorant les parties chaudes rouge/vert du spectre chromatique) permet de différencier avec certitude un dichromatisme d'un trichromatisme anormal et de quantifier ce dernier.

Pour les dyschromatopsies acquises, l'atteinte bleu-jaune étant prépondérante, l'utilisation des tests pseudo-isochromatiques est à éviter car explorant essentiellement les axes rouge-vert. Il faut donc utiliser en priorité les tests de classement désaturés tels que le D15 désaturé. Un complément d'exploration peut être réalisé grâce à l'utilisation de l'anomaloscope et de ses deux équations colorées recouvrant la totalité du spectre chromatique. En effet, ce test est le seul permettant de quantifier de manière fiable la dyschromatopsie et d'en assurer le suivi.

## 2.4. LE COLOR VISION EVALUATION TEST

Le Color Vision Evaluation Test, ou CVET test, est un test d'exploration de la vision des couleurs informatisé créé en 1996 par le Dr IONICA. ([36](#), [37](#))

### 2.4.1. Pourquoi ce test ?

Les méthodes d'exploration actuelles de la vision chromatique sont pour les plus performantes peu disponibles (étude des seuils chromatiques), pour les plus répandues limitées dans la quantification des déficits (test d'assortiment et test de confusion), et souvent insuffisantes dans le diagnostic concomitant des deux catégories de dyschromatopsies (congénitales et acquises).

En effet, les tests utilisés dans la pratique quotidienne sont souvent adaptés à un seul type de déficit. Ils ne permettent pas de différencier les formes congénitales des formes acquises, et ne quantifient pas l'intensité des dyschromatopsies.

De plus, la majorité des tests sont souvent inadaptés aux jeunes enfants, ce qui entraîne un retard de diagnostic, potentiellement nuisible dans leur apprentissage scolaire.

Le test « idéal » serait donc un test pratique, rapide, facile de réalisation, aussi bien adapté aux adultes qu'aux enfants, qui serait fiable et performant dans le diagnostic des dyschromatopsies congénitales et acquises, tout en permettant une quantification du déficit chromatique.

L'intérêt clinique de ce test « idéal » serait donc de diagnostiquer précocement toute dyschromatopsie, de traiter les pathologies oculaires débutantes dans les formes acquises, et de suivre leur évolution dans le temps.



### **2.4.2. Principe et objectifs du test (38)**

Il s'agit d'un test pigmentaire dont le principe repose sur la confusion colorée en utilisant des planches pseudo-isochromatiques.

Le grand avantage de ce test repose sur sa capacité d'analyse simultanée de deux des trois paramètres psychophysiques d'une couleur : la tonalité et la saturation.

Peu de tests présentent cette particularité. Nous pouvons citer les colorimètres et le New Color Test de Lanthony. (39, 40)

Les objectifs de ce nouveau test sont multiples :

- Diagnostiquer tout type de dyschromatopsies (rouge-vert et jaune-bleu).
- Différencier les dyschromatopsies héréditaires des dyschromatopsies acquises.
- Quantifier le déficit chromatique sur une échelle de 10.
- Suivre l'évolution d'une dyschromatopsie acquise (étalonnage sensible et précis).
- Définir avec exactitude les caractéristiques de la zone neutre étudiée :
  - Localisation dans le spectre chromatique,
  - Largeur sur une échelle de 6 axes,
  - Amplitude sur une échelle de 10 niveaux de saturation (c'est à dire jusqu'à quel niveau de saturation des couleurs, la zone neutre se manifeste).
- Simuler la vision chromatique du patient à partir d'images photos et ainsi mieux comprendre son trouble visuel.

L'examen peut ainsi déterminer une « acuité chromatique » sur une échelle de 10.

### 2.4.3. Composition du test

Le test est composé de 3 éléments : l'album, la lampe Dyschroma, et le programme informatique.

#### 2.4.3.1. L'Album

L'album est constitué de 72 planches pseudo-isochromatiques réparties en deux groupes : les planches démonstratives et les planches d'étalonnage.

##### 2.4.3.1.1. Planches démonstratives

Ce sont 4 planches conçues pour être vues par tous et qui ont pour but d'expliquer la méthode d'examen.

Ces planches présentent l'image d'un tabouret qui peut être orienté selon quatre positions (pieds du tabouret orientés en haut, en bas, à droite ou à gauche). L'album est accompagné d'un tabouret en carton identique à celui dessiné sur la planche. L'objectif étant de positionner le premier cité sur le second.

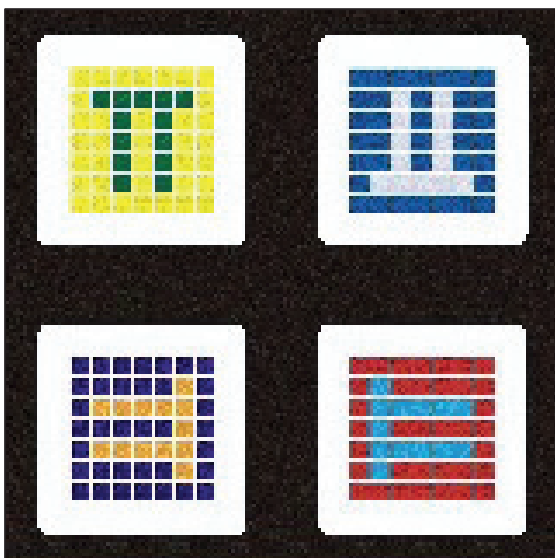


Figure 17 : Planches démonstratives.

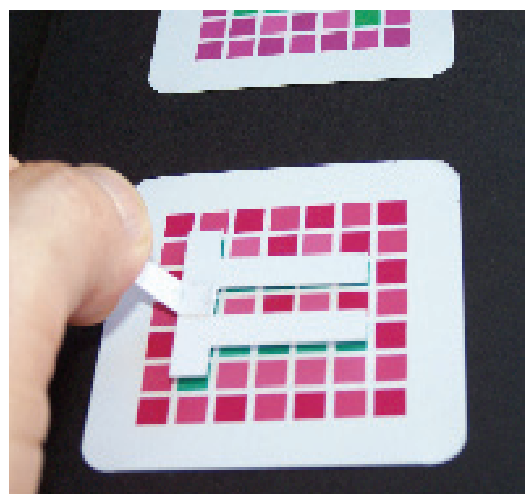


Figure 18 : Tabouret en carton.

### 2.4.3.1.2. Planches d'étalonnage

Il s'agit de 68 planches réparties en 6 séries, chaque série correspondant à un axe : monochromatique, protan, deutan, scotopique, tritan et tetartan.

La vision chromatique est étalonnée en 10 niveaux de saturation, de façon similaire à l'acuité visuelle.

Une perception des couleurs normale est chiffrée à 1, et l'absence totale de perception chromatique est chiffrée à 0. Entre ces deux valeurs existent 9 échelons intermédiaires correspondant à différents niveaux de trichromatisme anormal (de 0,9 à 0,1).

Pour chaque série, les tonalités sont choisies en fonction des zones neutres et des lignes de confusion les plus susceptibles de correspondre à la dyschromatopsie étudiée pour l'axe. C'est le test 100 Hue de Farnsworth-Munsell qui a servi de référence pour établir la tonalité de chaque axe. Chaque tonalité est rendue en 10 niveaux de saturation et trois niveaux de luminosité.

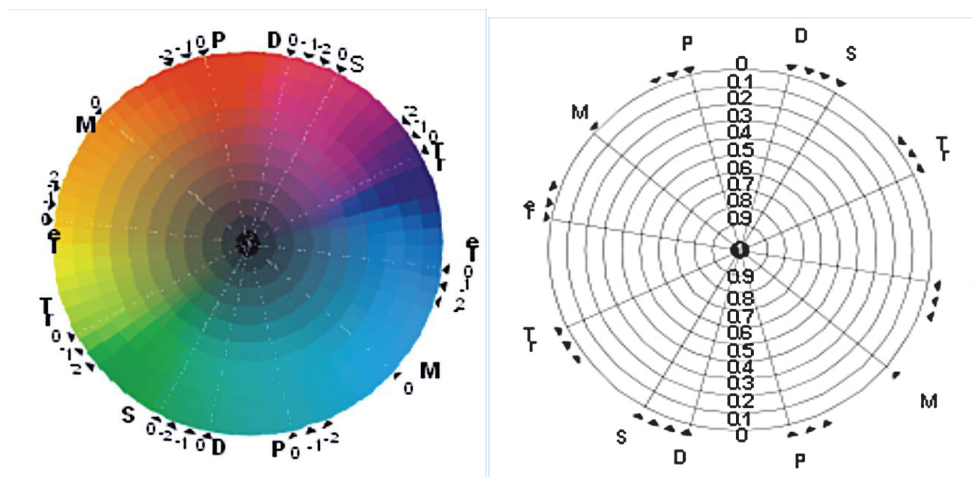
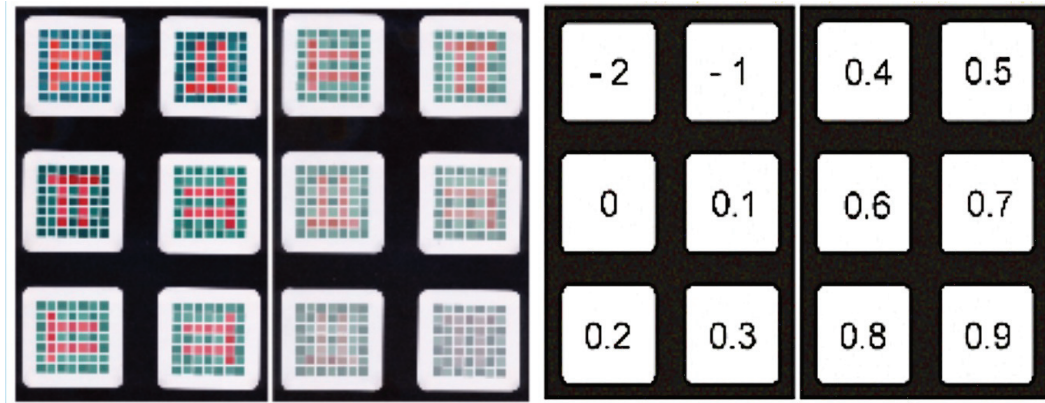


Figure 19 et 20 :

Diagramme chromatique avec les différents axes et niveaux de saturation.

Schéma du même diagramme avec étalonnage selon 10 niveaux de saturation.

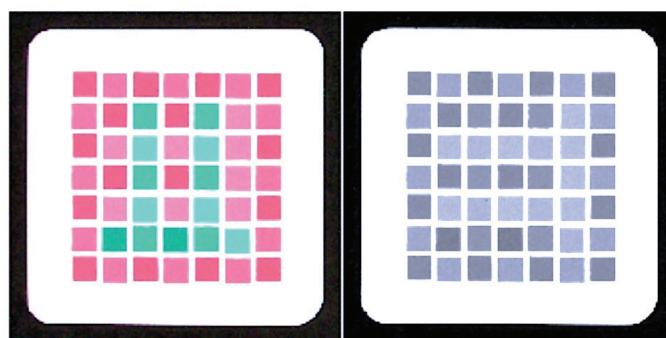


**Figure 21 et 22 :**

**Planches de dépistages d'axe Protan avec les 10 niveaux de saturation correspondants.**

Dans **une série**, les tonalités sont constantes, seul varie le niveau de saturation et de luminosité. Les 10 niveaux d'étalonnage correspondants sont calculés selon des paramètres spectrophotométriques. Toutes les couleurs sont préparées individuellement sous le contrôle d'un spectrophotomètre et imprimées séparément en sérigraphie.

Dans **une planche**, les différentes couleurs ont la même saturation et sont rendues en 3 niveaux de luminosité, dont le niveau le plus lumineux forme une image de confusion vue par les sujets dyschromates. Il s'agit d'un tabouret orienté différemment de celui formé par les différentes couleurs.



**Figure 23 a et b:**

**Planche d'axe deutane de niveau de saturation 0,4.**

**a :** vue par un sujet normal : les pieds du tabouret sont orientés vers le haut.

**b :** vue par un daltonien : les pieds du tabouret sont orientés vers la gauche.

### 2.4.3.2. La lampe Dyschroma

Il s'agit d'une lampe calibrée dont les paramètres physiques sont les suivants :

- Indice de rendu de couleurs = 98
- Température des couleurs = 5400° K
- Intensité d'éclairage = 1600 lux
- Constance de l'éclairage assurant un étalonnage correct des couleurs.
- Lampe intégrée à un socle en bois contenant un plateau noir pour accueillir l'album.

### 2.4.3.3. Le programme informatique Dyschroma

Il s'agit d'un logiciel intégré au test qui fournit, à partir des réponses obtenues du patient, des visuels informatisés et des résultats chiffrés du trouble de la vision des couleurs.

Ses principales fonctions peuvent être énumérées de telle sorte.

Tout d'abord, représenter graphiquement la dyschromatopsie sous la forme de 3 diagrammes dont chacun correspond à :

- **la zone neutre** du spectre chromatique, qui représente la totalité des couleurs pour lesquelles le patient n'a aucune discrimination chromatique et que le patient voit comme des nuances de gris.
- **le spectre chromatique** du patient, qui représente la zone de saturation maximale et donc les seules couleurs vues correctement par le patient.
- **la simulation** de la vision des couleurs du patient, qui correspond à l'approche la plus fidèle possible du spectre chromatique vu par le patient.

Ensuite, à partir des résultats enregistrés, proposer un ou plusieurs diagnostics par ordre de probabilité.

Puis, réaliser une simulation de la vision chromatique du patient grâce à plusieurs images photos.

Enfin, sauvegarder les données chiffrées et les diagnostics validés par l'examineur sur une base de données. Le principal avantage étant de pouvoir comparer les résultats de plusieurs examens, de suivre l'évolution d'une pathologie oculaire ainsi que l'efficacité de son traitement.

### **3. MATÉRIEL ET MÉTHODE**

Il s'agit d'une étude prospective, monocentrique, comparative de non infériorité, réalisée dans le service d'ophtalmologie pédiatrique du Centre Hospitalier Universitaire de Nice (Hôpital Lenval), entre janvier 2012 et février 2014.

### **3.1. Objectif de l'étude**

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer la validité, la faisabilité et la reproductibilité du « *COLOR VISION EVALUATION TEST* » (CVET) dans le diagnostic des dyschromatopsies congénitales, et de comparer ses paramètres au test de référence chez l'enfant : le 15 Hue standard de FARNSWORTH.

### **3.2. Critères d'inclusion**

La population de l'étude est composée d'enfants âgés de moins de 18 ans. L'accord parental a été obtenu pour chaque patient inclus. Aucune limite d'âge inférieur n'a été fixée à partir du moment où l'enfant est en âge verbal capable de comprendre et d'appliquer des consignes simples.

### **3.3. Critères de non inclusion**

Les enfants présentant des pathologies oculaires susceptibles de modifier la perception chromatique ont été exclus de l'étude afin de ne pas gêner l'interprétation des données. Ainsi, les enfants ayant une acuité visuelle inférieure à 1/10, un scotome central, une cataracte congénitale, une rétinopathie ou une neuropathie, ont été exclus de l'étude. De plus, les enfants présentant un déficit psychomoteur sévère n'étaient pas inclus du fait de l'impossibilité de réaliser les examens.



### **3.4. Déroulement de l'étude**

Chaque enfant a bénéficié dans un premier temps d'un dépistage à partir des planches pseudo-isochromatiques d'Ishihara.

Les enfants ont ensuite été répartis en deux groupes : un groupe contrôle et un groupe dyschromate.

Tous les enfants ont ensuite réalisé à deux reprises le test 15 Hue de Farnsworth et le CVET, avec un délai minimum de 7 jours entre les deux séries d'examen.

Ces examens ont été pratiqués en monoculaire (à l'aide d'une occlusion patch sur peau), avec une correction optique non teintée si nécessaire.

Lors de la première séance, le test 15 Hue standard de Farnsworth était réalisé en premier, en débutant par l'œil droit, puis l'œil gauche. Le CVET était ensuite effectué en débutant également par l'œil droit.

Lors de la deuxième séance, l'ordre des tests était inversé, le CVET était réalisé en premier (œil droit puis œil gauche), puis le 15 Hue standard de Farnsworth.

Les 2 tests étaient systématiquement pratiqués par le même examinateur (Alexandra Lamouret orthoptiste du service, ou Dr Anne-Laure Fisch).

L'éclairage utilisé était identique pour les différents examens. Il s'agissait d'un éclairage artificiel calibré correspondant à la lampe Dyschroma fournie avec le CVET.

Pour rappel, les paramétrages de la lampe sont :

- Indice de rendu de couleurs = 98
- Température de couleurs = 5400 °K
- Intensité d'éclairage = 1600 lux

Chaque enfant a bénéficié au préalable d'un examen ophtalmologique complet avec acuité visuelle, réfraction, examen biomicroscopique et fond d'œil, lors d'une consultation initiale.

## **3.5. Le 15 Hue standard de Farnsworth (21)**

### **3.5.1 Réalisation**

Les 15 pions libres étaient étalés aléatoirement sous la lampe Dyschroma.

L'enfant devait classer les pions à partir du pion de référence fixe dans le plumier.

La consigne « place à côté du pion celui qui lui ressemble le plus » était répétée après chaque pion posé dans le plumier.

L'examen était chronométré à l'insu de l'exécutant.

Les axes de confusion étaient analysés après report des numéros des pions sur le schéma dédié.

### **3.5.2. Interprétation**

Le test était considéré comme normal en l'absence d'erreur, non significatif en présence de 1 à 3 inversions de contiguïté, et pathologique en présence de plus de 2 droites de confusion.

L'axe de la dyschromatopsie était directement déduit à partir de la direction des droites de confusion.

L'intensité du déficit était quantifiée grâce au calcul d'un score de gravité selon la méthode suivante :

Un pion sauté correspond à 1 point, deux pions sautés à 2 points, trois pions sautés à 3 points, et ainsi de suite, jusqu'à un maximum de 7 points correspondants à la diagonale de confusion qui traverse la diagramme. L'erreur qui consiste à débiter le classement à l'envers par le pion n° 15 n'était pas comptabilisée.

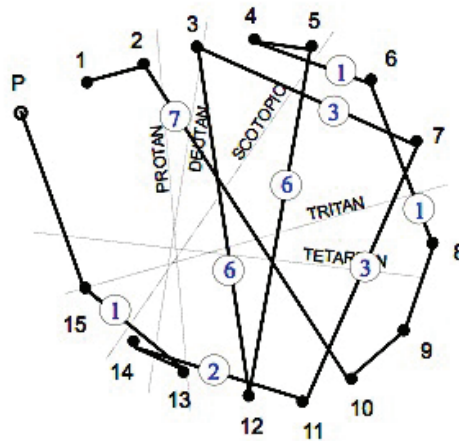


Figure 24 :

Exemple de calcul du score de gravité pour le test 15 Hue standard de Farnsworth.

### 3.6. Le Color Vision Evaluation Test (36)

#### 3.6.1. Réalisation

L'enfant recevait une seule consigne de la part de l'examineur : « dit moi de quel côté sont orientés les pieds du tabouret, et dépose le tabouret en carton par dessus celui dessiné, en les superposant exactement l'un sur l'autre ».

Les planches démonstratives étaient présentées en premier pour s'assurer de la bonne compréhension du test.

Les planches d'étalonnage étaient ensuite exposées une par une, en débutant toujours par la planche de plus forte saturation, puis en diminuant rapidement la saturation par les planches de niveau intermédiaire jusqu'à obtention de la dernière planche lue correctement.

L'examen était également chronométré à l'insu de l'exécutant.

Pour chacun des 6 axes, le niveau de la dernière planche lue correctement était reporté dans le logiciel Dyschroma.

### 3.6.2. Interprétation

Le programme calculait un ou plusieurs diagnostics à partir des résultats préalablement enregistrés. L'examineur devait ensuite valider le diagnostic qui lui semblait le plus cohérent en prenant en compte les antécédents ophtalmologiques du patient.

Le test était considéré comme normal si l'enfant lisait correctement la totalité des planches de l'album.

Si l'enfant lisait toutes les planches jusqu'aux planches de niveau 0,9, le diagnostic de faible discrimination chromatique était retenu.

Le test était considéré comme pathologique à partir des planches de niveau 0,8.

Pour les dyschromatopsies congénitales, un diagnostic de trichromatisme anormal était retenu lorsque le niveau de la dernière planche lue était compris entre 0,1 et 0,8.

Le diagnostic de dichromatisme était quant à lui retenu lorsque le niveau de la dernière planche lue correspondait aux niveaux 0, -1 et -2.

L'intensité du déficit était quantifiée par le calcul de deux indices : (38)

- Le score de gravité qui correspond au nombre total de planches d'étalonnages non lues, un score de 0 signifiant que l'enfant n'a fait aucune erreur.
- La capacité fonctionnelle chromatique (CFC) qui est un pourcentage correspondant à la somme des niveaux des dernières planches lues pour chaque axe (à l'exception des valeurs négatives) divisée par 6 et multipliée par 100 :

$$\frac{(M + P + D + S + Tr + Te) \times 100}{6}$$

*M : Monochromatique, P : Protan, D : Deutan, S : scotopique, Tr : Tritan et Te : Tetartan*

Un enfant normal ayant une capacité fonctionnelle chromatique de 100%.

### **3.7. Paramètres expérimentaux**

Différents paramètres expérimentaux ont été étudiés pour chacun des deux tests :

- Les critères de faisabilité :
  - Temps d'explication (seconde).
  - Temps de réalisation (seconde).
  - Facilité d'exécution (notée de 0 à 3 selon la compréhension du test et l'aptitude à réaliser ce dernier, 0 correspondant à un test difficile, et 3 à un test et facile).
  - Préférence de l'exécutant
- Les critères de fiabilité.
- La concordance concernant le diagnostic (et l'intensité du déficit).
- La reproductibilité.

### **3.8. Analyse statistique**

Les variables quantitatives sont décrites sous la forme de médiane/moyenne (minimum-maximum), et qualitatives sous la forme de pourcentage. Le test de rang Wilcoxon a été utilisé afin d'analyser les variables quantitatives d'échantillons liés. Le test de rang Mann Whitney a été utilisé pour rechercher une différence entre variables quantitatives d'échantillons non liés. Les tests de rang ont été préférés au test T de Student étant donné le mode de distribution inconnu des variables analysées. La significativité était atteinte si la valeur de p était strictement inférieure à 0,05, avec une hypothèse bilatérale. Les analyses étaient effectuées à l'aide du logiciel SPSS, version 16.0.

## **4. RÉSULTATS**

#### 4.1. Description de la population étudiée

Cent cinquante cinq patients ont été inclus dans l'étude, de janvier 2012 à février 2014. Parmi ces 155 patients, 70 d'entre eux étaient répartis dans le groupe dyschromate, et les 85 autres patients dans le groupe contrôle. L'âge moyen des enfants était de  $8 \pm 3,1$  ans (de 3 à 18 ans) dans le groupe dyschromate, contre  $9 \pm 2,9$  ans (de 3 à 16 ans) dans le groupe contrôle.

Dans le groupe dyschromate, 65 patients (92,9%) étaient des garçons, contre 47 patients (56%) dans le groupe contrôle (test de Chi-2,  $p < 0,001$ ).

Le délai moyen entre les deux évaluations était de 83 jours (de 7 à 566 jours) dans le groupe dyschromate, contre 72,8 jours (de 7 à 429 jours) dans le groupe contrôle (test de U Mann Whitney,  $p = 0,5$ ).

Parmi les 155 patients inclus dans l'étude, 12 enfants (17,1%) n'ont pas été réévalués dans le groupe dyschromate, contre 28 enfants (32,9%) dans le groupe contrôle, soit 40 patients perdus de vu au total (25,8%).

	Âge	Garçons	Filles	Total
Groupe Dyschromate	7,59 ans	65 (92,9%)	5 (7,1%)	70
Groupe contrôle	8,92 ans	47 (56%)	38 (44%)	85
<b>Total</b>		112	43	<b>155</b>

**Tableau 4 :**  
Caractéristiques de la population étudiée.

## 4.2. Résultats diagnostiques

### 4.2.1. Groupe Dyschromate

Les cas non significatifs sont indiqués à titre indicatif, et ne sont pas pris en compte dans le calcul des pourcentages affectés à chacune des catégories normale ou dyschromates.

Ci-dessous sont exposés de façon synthétique les résultats obtenus lors des deux évaluations successives.

TEST		N	Protan		Deutan		R/V	Faible DC	NS	TOTAL
15 Hue	1 <sup>e</sup> évaluation									
	OD	9 (15%)	24 (39%)		21 (34%)		7 (12%)	0 (0%)	9 (12,8%)	70
	OG	10 (16%)	24 (40%)		20 (33%)		6 (11%)	0 (0%)	10 (14,2%)	70
	2 <sup>e</sup> évaluation									
	OD	9 (16%)	25 (45,5%)		20 (36,5%)		1 (2%)	0 (0%)	3 (5%)	58
	OG	11 (20%)	23 (43%)		19 (35%)		1 (2%)	0 (0%)	4 (7%)	58
TEST		N	P-lie	P-pie	D-lie	D-pie	R/V	Faible DC	NS	TOTAL
CVET	1 <sup>e</sup> évaluation									
	OD	3 (4%)	27 (39%)	3 (4%)	20 (29%)	15 (21%)	1 (1,5%)	1 (1,5%)	0 (0%)	70
	OG	3 (4%)	28 (40,5%)	3 (4%)	19 (27,5%)	15 (21%)	1 (1,5%)	1 (1,5%)	0 (0%)	70
	2 <sup>e</sup> évaluation									
	OD	1 (1,5%)	26 (46%)	2 (3,5%)	14 (24%)	15 (25%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	58
	OG	1 (1,5%)	26 (46%)	2 (3,5%)	14 (24%)	15 (25%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	58

**Tableau 5 :**

**Présentation des résultats du groupe dyschromate obtenus lors de la réalisation des tests**

**15 Hue standard de Farnsworth et CVET test.**

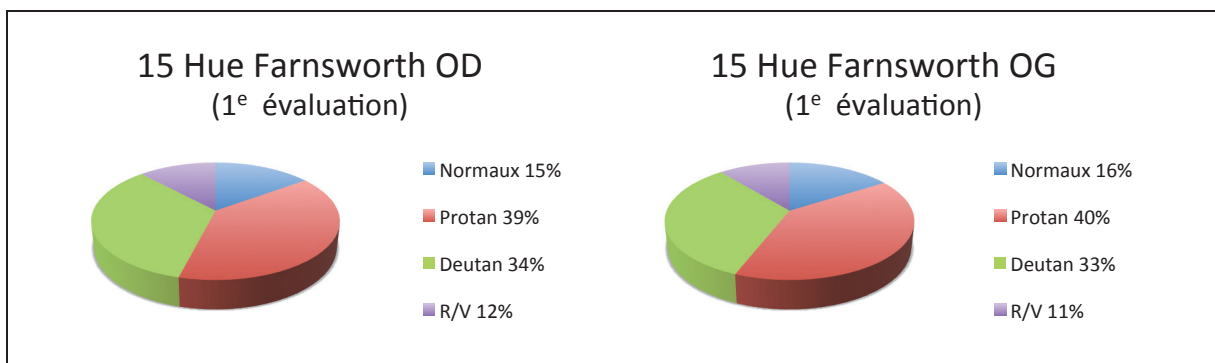
*P-lie* : Protanomalie, *P-pie* : Protanopie, *D-lie* : Deutéranomalie, *D-pie* : Deutéranopie, *R/V* : dyschromatopsie héréditaire sans détermination d'axe, *Faible DC* : faible discrimination chromatique, **NS** : **Non significatif**.



#### 4.2.1.1. Test 15 Hue Standard de Farnsworth

Au cours de la première évaluation, l'observation des 70 patients s'est distribuée de la manière suivante :

- Œil droit : 9 patients normaux (15%), 24 patients dyschromates de type protan (39%), 21 patients dyschromates de type deutan (34%) et 7 patients dyschromates de type rouge/vert sans détermination précise de l'axe (12%).
- Œil gauche : 10 patients normaux (16%), 24 patients dyschromates de type protan (40%), 20 patients dyschromates de type deutan (33%) et 6 patients dyschromates de type rouge/vert sans détermination précise de l'axe (11%).



***Diagrammes 1 et 2 :***

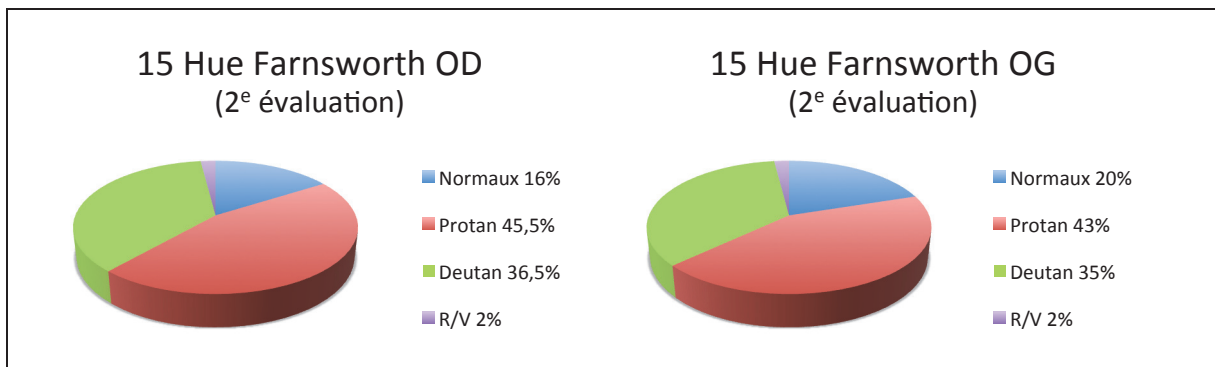
***Résultats de la 1<sup>e</sup> évaluation œil droit - œil gauche réalisée via le test 15 Hue standard de Farnsworth (groupe dyschromate)***

Lors de la seconde évaluation relative au test 15 Hue standard de Farnsworth, les 58 patients restants observés se sont répartis tels que décrit ci-après :

- Œil droit : 9 patients normaux (16%), 25 patients dyschromates de type protan (45,5%), 20 patients dyschromates de type deutan (36,5%) et 1 patient dyschromate de type rouge/vert sans détermination précise de l'axe (2%).

- Œil gauche : 11 patients normaux (20%), 23 patients dyschromates de type protan (43%), 19 patients dyschromates de type deutan (35%) et 1 patient dyschromate de type rouge/vert sans détermination précise de l'axe (2%).

Au cours de cette seconde évaluation, nous observons une diminution du pourcentage de patients dyschromates rouge/vert sans détermination d'axe (Œil droit : 12% vs 2% et œil gauche : 11% vs 2%).



**Diagrammes 3 et 4 :**

***Résultats de la 2<sup>e</sup> évaluation œil droit – œil gauche réalisée via le test 15 Hue standard de Farnsworth (groupe dyschromate)***

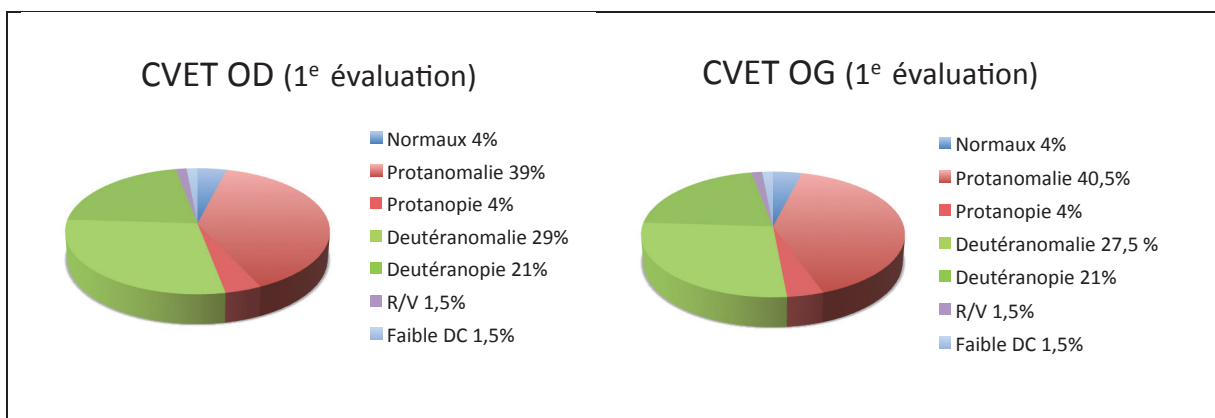
Pour chacune des deux évaluations réalisées avec le test 15 Hue standard de Farnsworth, nous avons observé une proportion non négligeable de résultats classés non significatifs. Toutefois, cette proportion de non significatifs a présenté une forte diminution au cours de la seconde évaluation (œil droit : 5% vs 12,8% et œil gauche : 7% vs 14,2%).

Pour rappel, sont considérés comme non significatifs les résultats pour lesquels il n'est possible de conclure à leur affectation normale ou dyschromate.

#### 4.2.1.2. CVET test

Au cours de la première évaluation, l'observation des 70 patients s'est distribuée de la manière suivante :

- Œil droit : 3 patients normaux (4%), 30 patients dyschromates de type protan (43%) dont 27 patients protanomals (39%) et 3 patients protanopes (4%), 35 patients dyschromates de type deutan (50%) dont 20 patients deutéranomals (29%) et 15 patients deutéranopes (21%), 1 patient dyschromate de type rouge/vert sans détermination précise de l'axe (1,5%) et 1 patient ayant une faible discrimination chromatique (1,5%).
- Œil gauche: 3 patients normaux (4%), 31 patients dyschromates de type protan (44,5%) dont 28 patients protanomals (40,5%) et 3 patients protanopes (4%), 34 patients dyschromates de type deutan (48,5%) dont 19 patients deutéranomals (27,5%) et 15 patients deutéranopes (21%), 1 patient dyschromate de type rouge/vert sans détermination précise de l'axe (1,5%) et 1 patient ayant une faible discrimination chromatique (1,5%).

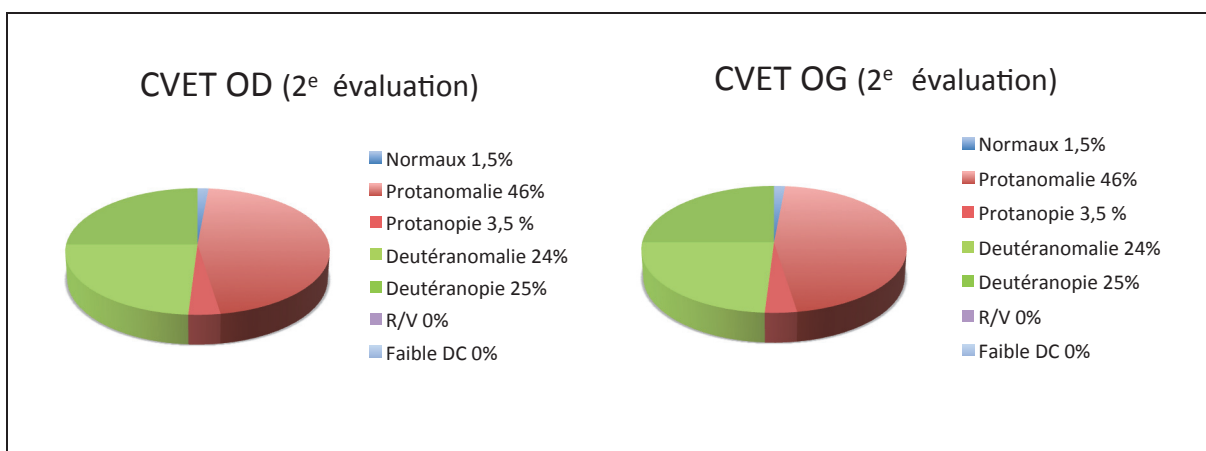


**Diagrammes 5 et 6 :**

**Résultats de la 1<sup>e</sup> évaluation œil droit – œil gauche réalisée via le CVET test (groupe dyschromate)**

Lors de la seconde évaluation relative au CVET test, les 58 patients restants observés se sont répartis tels que décrit ci-après :

- Œil droit : 1 patient normal (1,5%), 28 patients dyschromates de type protan (49,5%) dont 26 patients protanomals (46%) et 2 patients protanopes (3,5%), 29 patients dyschromates de type deutan (49%) dont 14 patients deutéranomals (24%) et 15 patients deutéranopes (25%). Aucun patient ne présentait de dyschromatopsie de type rouge/vert, ou de faible discrimination chromatique.
- Œil gauche: 1 patient normal (1,5%), 28 patients dyschromates de type protan (49,5%) dont 26 patients protanomals (46%) et 2 patients protanopes (3,5%), 29 patients dyschromates de type deutan (49%) dont 14 patients deutéranomals (24%) et 15 patients deutéranopes (25%). Aucun patient ne présentait de dyschromatopsie de type rouge/vert, ou de faible discrimination chromatique.



**Diagrammes 7 et 8 :**

*Résultats de la 2<sup>e</sup> évaluation œil droit – œil gauche réalisée via le CVET test (groupe dyschromate)*

Contrairement au test 15 Hue standard de Farnsworth, le CVET test ne révèle aucun résultat non significatif pour chacune des deux évaluations.

#### 4.2.2. Groupe contrôle

A l'inverse du premier groupe, les cas non significatifs sont ici pris en compte dans le calcul des proportions pour chaque catégorie de résultats.

Ci-dessous sont exposés de façon synthétique les résultats obtenus lors des deux évaluations successives.

<i>TEST</i>		<i>N</i>	<i>R/V</i>	<i>Faible DC</i>	<i>NS</i>	<i>TOTAL</i>
<i>15 Hue</i>	1 <sup>e</sup> évaluation					
	OD	48 (56%)	1 (1%)	0 (0%)	36 (43%)	85
	OG	51 (60%)	2 (2%)	0 (0%)	32 (38%)	85
	2 <sup>e</sup> évaluation					
	OD	35 (61,5%)	0	0	22 (38,5%)	57
	OG	39 (68,5%)	0	0	18 (31,5%)	57
<i>TEST</i>		<i>N</i>	<i>R/V</i>	<i>Faible DC</i>	<i>NS</i>	<i>TOTAL</i>
<i>CVET</i>	1 <sup>e</sup> évaluation					
	OD	81 (95,5%)	1 (1%)	3 (3,5%)	0 (0%)	85
	OG	81 (95,5%)	1 (1%)	3 (3,5%)	0 (0%)	85
	2 <sup>e</sup> évaluation					
	OD	56 (98%)	0 (0%)	1 (2%)	0 (0%)	57
	OG	56 (98%)	0 (0%)	1 (2%)	0 (0%)	57

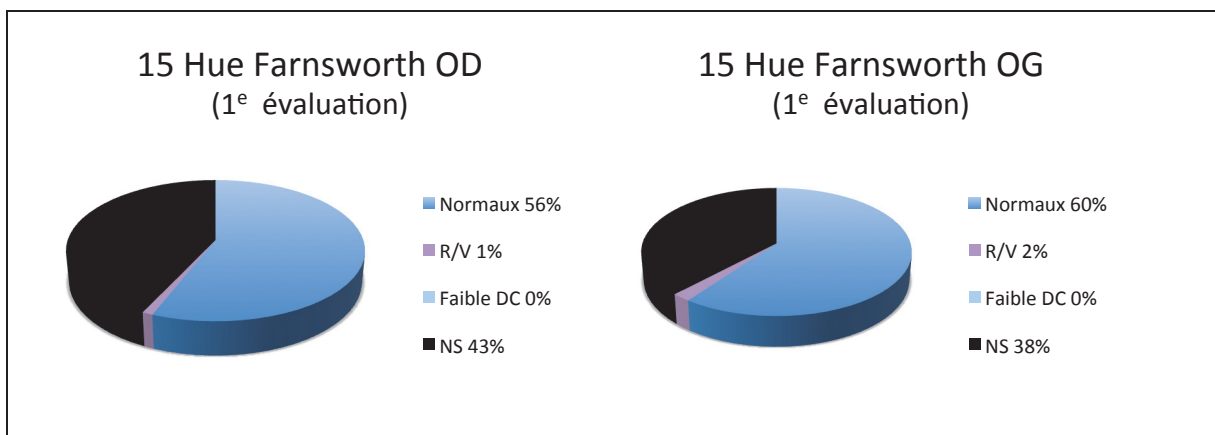
**Tableau 6 :**  
Présentation des résultats du groupe contrôle obtenus lors de la réalisation des tests 15 Hue standard de Farnsworth et CVET test.

*N* : Normal, *R/V* : dyschromatopsie héréditaire sans détermination d'axe, *Faible DC* : faible discrimination chromatique, *NS* : Non significatif.

#### 4.2.2.1. Test 15 Hue Standard de Farnsworth

Au cours de la première évaluation, l'observation des 85 patients s'est distribuée de la manière suivante :

- Œil droit : 48 patients normaux (56%) et 1 patient dyschromate de type rouge/vert sans détermination précise de l'axe (1%). Par ailleurs, 36 patients se sont révélés non significatifs (43%), et aucun patient n'a présenté de faible discrimination chromatique.
- Œil gauche : 51 patients normaux (60%) et 2 patient dyschromate de type rouge/vert sans détermination précise de l'axe (2%). Par ailleurs, 32 patients se sont révélés non significatifs (38%), et aucun patient n'a présenté de faible discrimination chromatique.

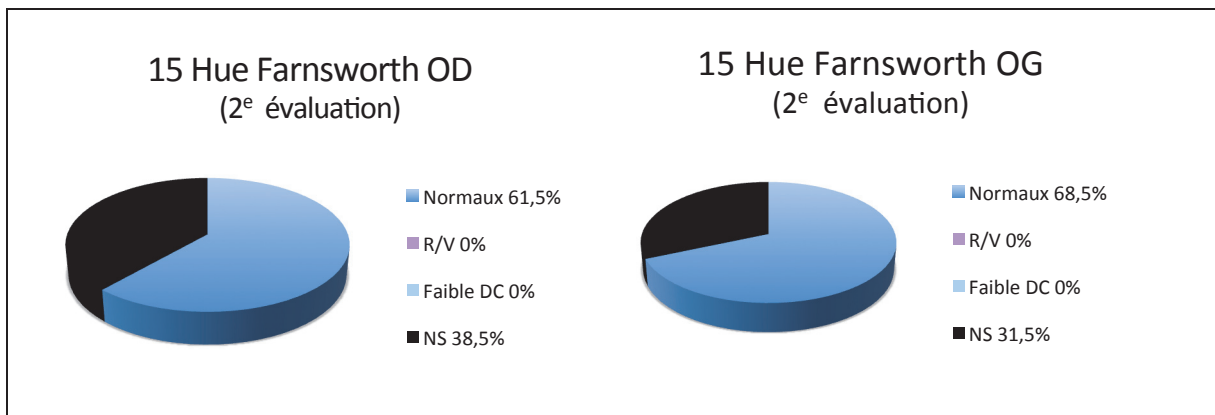


***Diagrammes 9 et 10 :***

***Résultats de la 1<sup>e</sup> évaluation œil droit - œil gauche réalisée via le test 15 Hue standard de Farnsworth (groupe contrôle)***

Lors de la seconde évaluation relative au test 15 Hue standard de Farnsworth, les 57 patients restants observés se sont répartis tels que décrit ci-après :

- Œil droit : 35 patients normaux (61,5%). Aucun patient n'a présenté de dyschromate de type rouge/vert, ni de faible discrimination chromatique. Par ailleurs, 22 patients se sont révélés non significatifs (38,5%).
- Œil gauche : 39 patients normaux (68,5%). Aucun patient n'a présenté de dyschromate de type rouge/vert, ni de faible discrimination chromatique. Par ailleurs, 18 patients se sont révélés non significatifs (31,5%).



**Diagrammes 11 et 12 :**

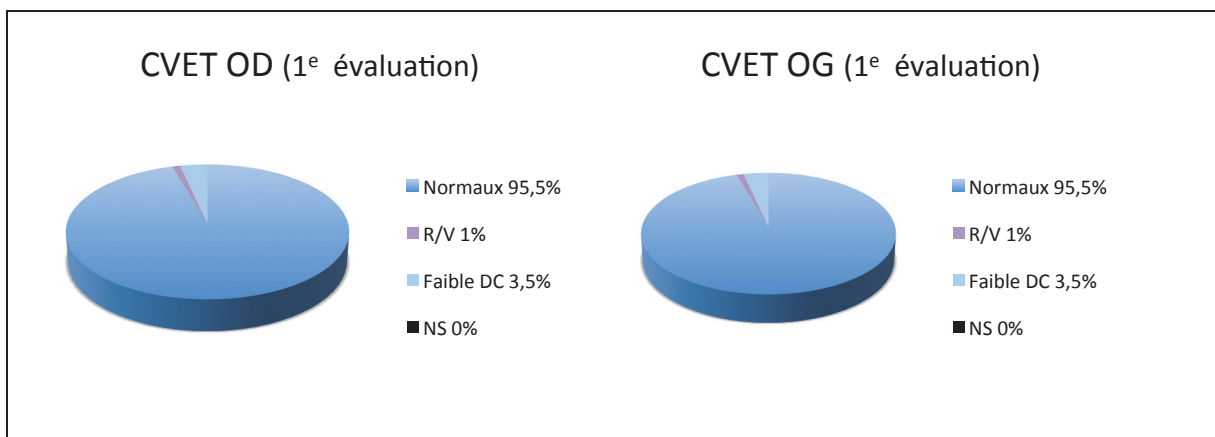
***Résultats de la 2<sup>e</sup> évaluation œil droit - œil gauche réalisée via le test 15 Hue standard de Farnsworth (groupe contrôle)***

Nous constatons, de la même manière que lors de l'évaluation du groupe dyschromate, un pourcentage élevé de résultats non significatifs.

#### 4.2.2.2. Le CVET test

Au cours de la première évaluation, l'observation des 85 patients s'est distribuée de la manière suivante :

- Œil droit : 81 patients normaux (95,5%), 1 patient dyschromate de type rouge/vert sans détermination précise de l'axe (1%), et 3 patients ayant une faible discrimination chromatique (3,5%). Par ailleurs, il n'a été constaté aucun résultat non significatif.
- Œil gauche : 81 patients normaux (95,5%), 1 patient dyschromate de type rouge/vert sans détermination précise de l'axe (1%), et 3 patients ayant une faible discrimination chromatique (3,5%). Par ailleurs, il n'a été constaté aucun résultat non significatif.



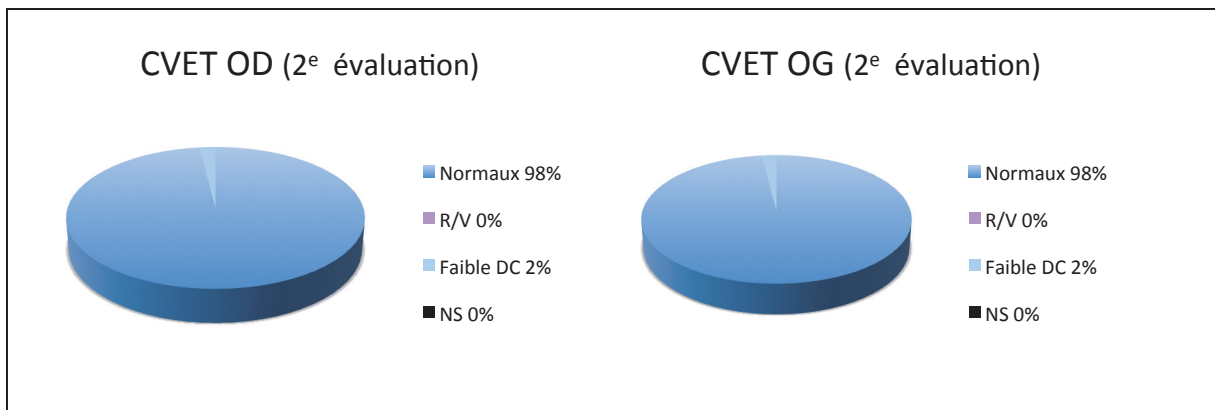
**Diagrammes 13 et 14 :**

***Résultats de la 1<sup>e</sup> évaluation œil droit - œil gauche réalisée via le CVET test (groupe contrôle)***



Lors de la seconde évaluation relative au CVET test, les 57 patients restants observés se sont répartis tels que décrit ci-après :

- Œil droit : 56 patients normaux (98%), et 1 patient ayant une faible discrimination chromatique (2%). Par ailleurs, aucun cas de dyschromatopsie rouge/vert, ni aucun résultat non significatif n'ont été constatés.
- Œil gauche : 56 patients normaux (98%), et 1 patient ayant une faible discrimination chromatique (2%). Par ailleurs, aucun cas de dyschromatopsie rouge/vert, ni aucun résultat non significatif n'ont été constatés.



***Diagrammes 15 et 16 :***

***Résultats de la 2<sup>e</sup> évaluation œil droit - œil gauche réalisée via le CVET test (groupe contrôle)***

Comme mentionné au paragraphe 2.2.1., le CVET test ne révèle aucun résultat non significatif pour chacune des deux évaluations.

## 4.3. Critères de faisabilité

### 4.3.1. Temps d'explication

Le temps d'explication est significativement plus court lors de la deuxième évaluation comparativement à la première, et ce quel que soit le test et le groupe (phénomène d'apprentissage inhérent à chaque test).

- Concernant le test 15 Hue standard de Farnsworth ; le temps d'explication pour le groupe dyschromate était de 18,3 secondes lors de la 1<sup>e</sup> évaluation contre 10,4 secondes lors de la 2<sup>e</sup> évaluation (test de Wilcoxon,  $p < 0,001$ ). Pour le groupe contrôle, le temps d'explication était de 19,4 secondes lors de la 1<sup>e</sup> évaluation contre 10,1 secondes lors de la 2<sup>e</sup> évaluation (test de Wilcoxon,  $p < 0,001$ ).
- Concernant le CVET test ; le temps d'explication pour le groupe dyschromate était de 17,1 secondes lors de la 1<sup>e</sup> évaluation contre 10,1 secondes lors de la 2<sup>e</sup> évaluation (test de Wilcoxon,  $p < 0,001$ ). Pour le groupe contrôle, le temps d'explication était de 17,8 secondes lors de la 1<sup>e</sup> évaluation contre 10 secondes lors de la 2<sup>e</sup> évaluation (test de Wilcoxon,  $p < 0,001$ ).

En revanche, le temps d'explication est sensiblement comparable d'un test à l'autre lors de chacune des deux évaluations, et ce quel que soit le groupe.

- Concernant la 1<sup>e</sup> évaluation ; le temps d'explication du test 15 Hue standard de Farnsworth était de 18,3 secondes contre 17,7 secondes pour le CVET test pour le groupe dyschromate (test de Wilcoxon,  $p = 0,2$ ). Pour le groupe contrôle, le

temps d'explication du 15 Hue standard de Farnsworth était de 19,4 secondes contre 17,8 secondes pour le CVET test (test de Wilcoxon,  $p < 0,001$ ). Dans ce dernier cas, la différence de temps d'explication est statistiquement significative tout en étant de faible importance (1,6 secondes).

- Concernant la 2<sup>e</sup> évaluation : le temps d'explication du test 15 Hue standard de Farnsworth était de 10,4 secondes contre 10,1 secondes pour le CVET test pour le groupe dyschromate (test de Wilcoxon,  $p = 0,3$ ). Pour le groupe contrôle, le temps d'explication du 15 Hue standard de Farnsworth était de 10,1 secondes contre 10 secondes pour le CVET test (test de Wilcoxon,  $p = 0,3$ ).

	Groupe Dyschromate		Groupe Contrôle	
	Temps (seconde)	Valeur $p^*$	Temps (seconde)	Valeur $p^*$
<b>15 Hue</b>				
1 <sup>e</sup> évaluation	18,3		19,4	
2 <sup>e</sup> évaluation	10,4	< 0,001	10,1	< 0,001
<b>CVET</b>				
1 <sup>e</sup> évaluation	17,7		17,8	
2 <sup>e</sup> évaluation	10,1	< 0,001	10	< 0,001
<b>1<sup>e</sup> évaluation</b>				
15 Hue	18,3		19,4	
CVET	17,7	0,2	17,8	< 0,001
<b>2<sup>e</sup> évaluation</b>				
15 Hue	10,4		10,1	
CVET	10,1	0,3	10	0,3

**Tableau 7 :**  
Temps d'explication - (\* test de Wilcoxon)

## 4.3.2. Temps de réalisation

### 4.3.2.1. Groupe contrôle versus groupe dyschromate

Pour chacune des deux évaluations, et ce quel que soit le test, le temps de réalisation des patients du groupe contrôle est toujours significativement plus court que celui des patients du groupe dyschromate.

- Concernant le test 15 Hue standard lors de la 1<sup>e</sup> évaluation, le temps de réalisation à l'œil droit était en moyenne de 105,8 secondes pour le groupe contrôle contre 125,7 secondes pour le groupe dyschromate (test de Wilcoxon  $p = 0,002$ ). A l'œil gauche, le temps de réalisation était en moyenne de 88,5 secondes pour le groupe contrôle contre 102,5 secondes pour le groupe dyschromate (test de Wilcoxon  $p = 0,004$ ).
- Concernant le CVET lors de la 1<sup>e</sup> évaluation, le temps de réalisation à l'œil droit était en moyenne de 115 secondes pour le groupe contrôle contre 245 secondes pour le groupe dyschromate (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ). A l'œil gauche, le temps de réalisation était en moyenne de 94,4 secondes pour le groupe contrôle contre 192,7 secondes pour le groupe dyschromate (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ).
- Concernant le test 15 Hue standard lors de la 2<sup>e</sup> évaluation, le temps de réalisation à l'œil droit était en moyenne de 97,1 secondes pour le groupe contrôle contre 153,1 secondes pour le groupe dyschromate (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ). A l'œil gauche, le temps de réalisation était en moyenne de 54,9

secondes pour le groupe contrôle contre 94,9 secondes pour le groupe dyschromate (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ).

- Concernant le CVET lors de la 2<sup>e</sup> évaluation, le temps de réalisation à l'œil droit était en moyenne de 69,5 secondes pour le groupe contrôle contre 178,6 secondes pour le groupe dyschromate (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ). A l'œil gauche, le temps de réalisation était en moyenne de 55,6 secondes pour le groupe contrôle contre 155,5 secondes pour le groupe dyschromate (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ).

1 <sup>e</sup> évaluation	Temps (seconde)		Valeur $p^*$
	Groupe Dyschromate	Groupe Contrôle	
15 Hue			
OD	125,7	105,8	0,002
OG	102,5	88,5	0,004
CVET			
OD	245	115	< 0,001
OG	192,7	94,4	< 0,001
2 <sup>e</sup> évaluation	Temps (seconde)		Valeur $p^*$
	Groupe Dyschromate	Groupe Contrôle	
15 Hue			
OD	153,1	97,1	< 0,001
OG	94,9	54,9	< 0,001
CVET			
OD	178,6	69,5	< 0,001
OG	155,5	55,6	< 0,001

**Tableau 8 :**

**Temps de réalisation des tests pour chacun des groupes dyschromate et contrôle.**

*(\* test de Wilcoxon)*

#### 4.3.2.2. Groupe dyschromate

Le temps de réalisation de l'œil gauche est toujours significativement plus court en moyenne que celui de l'œil droit, et ce pour les deux évaluations et quel que soit le type de test (phénomène d'apprentissage au cours d'une même séance du premier œil sur le deuxième).

- Lors de la 1<sup>e</sup> évaluation, concernant le test 15 Hue standard de Farnsworth, le temps de réalisation à l'œil droit était en moyenne de 125,7 secondes contre 102,5 secondes pour l'œil gauche (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ). Concernant le CVET test, le temps de réalisation à l'œil droit était en moyenne de 245,4 secondes contre 178,6 secondes pour l'œil gauche (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ).
- Lors de la 2<sup>e</sup> évaluation, concernant le test 15 Hue standard de Farnsworth, le temps de réalisation à l'œil droit était en moyenne de 103,3 secondes contre 94,9 secondes pour l'œil gauche (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ). Concernant le CVET test, le temps de réalisation à l'œil droit était en moyenne de 178,6 secondes contre 155,5 secondes pour l'œil gauche (test de Wilcoxon  $p = 0,002$ ).

Type de test	Temps (secondes)		Valeur $p^*$
	OD	OG	
1 <sup>e</sup> évaluation			
15 Hue	125,7	102,5	$< 0,001$
CVET	245,4	178,6	$< 0,001$
2 <sup>e</sup> évaluation			
15 Hue	103,3	94,9	$< 0,001$
CVET	178,6	155,5	$= 0,002$

**Tableau 9 :**

**Temps de réalisation des tests œil droit - œil gauche dans le groupe dyschromate. (\* test de Wilcoxon)**

Le temps de réalisation du CVET test est toujours significativement plus long en moyenne que celui du test 15 Hue standard de Farnsworth, et ce pour les deux évaluations et quelle que soit la latéralité.

- Lors de la 1<sup>e</sup> évaluation, concernant l'œil droit, le temps de réalisation du test 15 Hue standard de Farnsworth était en moyenne de 125,7 secondes contre 245,4 secondes pour le CVET test (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ). Concernant l'œil gauche, le temps de réalisation du test 15 Hue standard de Farnsworth était en moyenne de 102,5 secondes contre 178,6 secondes pour le CVET test (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ).
- Lors de la 2<sup>e</sup> évaluation, concernant l'œil droit, le temps de réalisation du test 15 Hue standard de Farnsworth était en moyenne de 103,3 secondes contre 178,6 secondes pour le CVET test (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ). Concernant l'œil gauche, le temps de réalisation du test 15 Hue standard de Farnsworth était en moyenne de 94,9 secondes contre 155,5 secondes pour le CVET test (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ).

Latéralité	Temps (secondes)		Valeur $p^*$
	15 Hue	CVET	
1 <sup>e</sup> évaluation			
OD	125,7	245,4	< 0,001
OG	102,5	178,6	< 0,001
2 <sup>e</sup> évaluation			
OD	103,3	178,6	< 0,001
OG	94,9	155,5	< 0,001

**Tableau 10 :**

**Temps de réalisation des tests selon le type de test dans le groupe dyschromate.**

*(\* test de Wilcoxon)*

Le temps de réalisation est toujours significativement plus court en moyenne lors de la 2<sup>e</sup> évaluation, et ce quelle que soit la latéralité et le type de test (phénomène d'apprentissage de la 1<sup>e</sup> évaluation à la 2<sup>e</sup>).

- Concernant le test 15 Hue standard de Farnsworth, le temps de réalisation à l'œil droit était en moyenne de 125,7 secondes lors de la 1<sup>e</sup> évaluation contre 103,3 secondes lors de la 2<sup>e</sup> évaluation (test de Wilcoxon  $p = 0,001$ ). A l'œil gauche, le temps de réalisation était en moyenne de 102,5 secondes lors de la 1<sup>e</sup> évaluation contre 94,9 secondes lors de la 2<sup>e</sup> évaluation (test de Wilcoxon  $p = 0,051$ ).
- Concernant le CVET test, le temps de réalisation à l'œil droit était en moyenne de 245,4 secondes lors de la 1<sup>e</sup> évaluation contre 178,6 secondes lors de la 2<sup>e</sup> évaluation (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ). A l'œil gauche, le temps de réalisation était en moyenne de 178,6 secondes lors de la 1<sup>e</sup> évaluation contre 155,5 secondes lors de la 2<sup>e</sup> évaluation (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ).

Latéralité	Temps (secondes)		Valeur $p^*$
	1 <sup>e</sup> évaluation	2 <sup>e</sup> évaluation	
15 Hue standard Farnsworth			
OD	125,7	103,3	= 0,001
OG	102,5	94,9	= 0,051
CVET test			
OD	245,4	178,6	< 0,001
OG	178,6	155,5	< 0,001

**Tableau 11 :**

**Temps de réalisation des tests selon la 1<sup>e</sup> ou la 2<sup>e</sup> évaluation dans le groupe dyschromate.**

**(\* test de Wilcoxon)**



### 4.3.2.3. Groupe contrôle

Comme pour le groupe dyschromate, le temps de réalisation de l'œil gauche est toujours significativement plus court en moyenne que celui de l'œil droit, et ce pour les deux évaluations et quel que soit le type de test (phénomène d'apprentissage au cours d'une même séance d'évaluation d'un œil sur l'autre).

- Lors de la 1<sup>e</sup> évaluation, concernant le test 15 Hue standard de Farnsworth, le temps de réalisation à l'œil droit était en moyenne de 105,9 secondes contre 88,5 secondes pour l'œil gauche (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ). Concernant le CVET test, le temps de réalisation à l'œil droit était en moyenne de 115 secondes contre 94,4 secondes pour l'œil gauche (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ).
- Lors de la 2<sup>e</sup> évaluation, concernant le test 15 Hue standard de Farnsworth, le temps de réalisation à l'œil droit était en moyenne de 97,1 secondes contre 55 secondes pour l'œil gauche (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ). Concernant le CVET test, le temps de réalisation à l'œil droit était en moyenne de 69,6 secondes contre 55,7 secondes pour l'œil gauche (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ).

Type de test	Temps (secondes)		Valeur $p^*$
	OD	OG	
1 <sup>e</sup> évaluation			
15 Hue	105,9	88,5	< 0,001
CVET	115	94,4	< 0,001
2 <sup>e</sup> évaluation			
15 Hue	97,1	55	< 0,001
CVET	69,6	55,7	< 0,001

**Tableau 12 :**

**Temps de réalisation des tests œil droit - œil gauche dans le groupe contrôle.**

*(\* test de Wilcoxon)*

En revanche, contrairement au groupe dyschromate, il n'est pas retrouvé de différence statistiquement significative entre les temps de réalisation d'un test à l'autre, et ce pour les deux évaluations et quelle que soit la latéralité.

- Lors de la 1<sup>e</sup> évaluation, concernant l'œil droit, le temps de réalisation du test 15 Hue standard de Farnsworth était en moyenne de 105,9 secondes contre 115 secondes pour le CVET test (test de Wilcoxon  $p = 0,2$ ). Concernant l'œil gauche, le temps de réalisation du test 15 Hue standard de Farnsworth était en moyenne de 88,5 secondes contre 94,4 secondes pour le CVET test (test de Wilcoxon  $p = 0,4$ ).
- Lors de la 2<sup>e</sup> évaluation, concernant l'œil droit, le temps de réalisation du test 15 Hue standard de Farnsworth était en moyenne de 97,1 secondes contre 69,6 secondes pour le CVET test (test de Wilcoxon  $p = 0,4$ ). Concernant l'œil gauche, le temps de réalisation du test 15 Hue standard de Farnsworth était en moyenne de 55 secondes contre 55,7 secondes pour le CVET test (test de Wilcoxon  $p = 0,7$ ).

Latéralité	Temps (secondes)		Valeur $p^*$
	15 Hue	CVET	
1 <sup>e</sup> évaluation			
OD	105,9	115	= 0,2
OG	88,5	94,4	= 0,4
2 <sup>e</sup> évaluation			
OD	97,1	69,6	= 0,4
OG	55	55,7	= 0,7

**Tableau 13 :**

**Temps de réalisation des tests selon le type de test dans le groupe contrôle.**

*(\* test de Wilcoxon)*

Comme pour le groupe dyschromate, le temps de réalisation est toujours significativement plus court en moyenne lors de la 2<sup>e</sup> évaluation, et ce quelle que soit la latéralité et le type de test (phénomène d'apprentissage de la 1<sup>e</sup> évaluation à la seconde).

- Concernant le test 15 Hue standard de Farnsworth, le temps de réalisation à l'œil droit était en moyenne de 105,9 secondes lors de la 1<sup>e</sup> évaluation contre 97,1 secondes lors de la 2<sup>e</sup> évaluation (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ). A l'œil gauche, le temps de réalisation était en moyenne de 88,5 secondes lors de la 1<sup>e</sup> évaluation contre 55 secondes lors de la 2<sup>e</sup> évaluation (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ).
- Concernant le CVET test, le temps de réalisation à l'œil droit était en moyenne de 115 secondes lors de la 1<sup>e</sup> évaluation contre 69,6 secondes lors de la 2<sup>e</sup> évaluation (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ). A l'œil gauche, le temps de réalisation était en moyenne de 94,4 secondes lors de la 1<sup>e</sup> évaluation contre 55,7 secondes lors de la 2<sup>e</sup> évaluation (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ).

Latéralité	Temps (secondes)		Valeur $p^*$
	1 <sup>e</sup> évaluation	2 <sup>e</sup> évaluation	
15 Hue standard Farnsworth			
OD	105,9	97,1	< 0,001
OG	88,5	55	< 0,051
CVET test			
OD	115	69,6	< 0,001
OG	94,4	55,7	< 0,001

**Tableau 14 :**

**Temps de réalisation des tests selon la 1<sup>e</sup> ou la 2<sup>e</sup> évaluation dans le groupe contrôle.**

**(\* test de Wilcoxon)**

### 4.3.3. Facilité d'exécution

Il n'a pas été révélé de différence significative concernant la compréhension et l'aptitude à réaliser un même test d'une évaluation à l'autre.

- Concernant le test 15 Hue standard de Farnsworth, la facilité d'exécution était notée en moyenne à 2,00 lors de la 1<sup>e</sup> évaluation et à 2,17 lors de la 2<sup>e</sup> évaluation (test de Wilcoxon  $p = 0,2$ ).
- Concernant le CVET test, la facilité d'exécution était notée en moyenne à 2,63 lors de la 1<sup>e</sup> évaluation et à 2,79 lors de la 2<sup>e</sup> évaluation (test de Wilcoxon  $p = 0,3$ ).

Test	Evaluation		Valeur p*
	1 <sup>e</sup> évaluation	2 <sup>e</sup> évaluation	
15 Hue Farnsworth	2	2,17	= 0,2
CVET test	2,63	2,79	= 0,3

**Tableau 15 :**

**Comparaison statistique de la facilité d'exécution des 1<sup>e</sup> et 2<sup>e</sup> évaluation pour chaque test**

**(\* Test Wilcoxon)**

En revanche, le CVET test présente de façon significative - comparativement au test 15 Hue standard de Farnsworth - une plus grande facilité d'exécution, et ce quelle que soit l'évaluation.

- Lors de la 1<sup>e</sup> évaluation, la facilité d'exécution était notée en moyenne à 2,00 pour le test 15 Hue standard de Farnsworth et à 2,63 pour le CVET test (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ).

- Lors de la 2<sup>e</sup> évaluation, la facilité d'exécution était notée en moyenne à 2,17 pour le test 15 Hue standard de Farnsworth et à 2,79 pour le CVET test (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ).

Evaluation	Type de test		Valeur p*
	15 Hue Farnsworth	CVET	
1 <sup>e</sup> évaluation	2	2,63	< 0,001
2 <sup>e</sup> évaluation	2,17	2,79	< 0,001

**Tableau 16 :**

**Comparaison statistique de la facilité d'exécution de chacun des tests pour chacune des évaluations  
(\* Test Wilcoxon)**

#### **4.3.4. Préférence de l'exécutant**

La grande majorité des patients ont une préférence pour le CVET test, ce pour les deux évaluations et quel que soit le groupe.

Cette préférence trouve son origine dans l'aspect ludique du test.

Ainsi, dans le groupe dyschromate, 82,9% des patients ont préféré le CVET test lors de la 1<sup>e</sup> évaluation, et 91,4% des patients l'ont préféré lors de la 2<sup>e</sup> évaluation.

Dans le groupe contrôle, 83,5% des patients ont préféré le CVET test lors de la 1<sup>e</sup> évaluation, et 80,7% l'ont préféré lors de la 2<sup>e</sup> évaluation.

	CVET test (%)	15 Hue standard (%)
Groupe Dyschromate		
1 <sup>e</sup> évaluation	82,9	17,1
2 <sup>e</sup> évaluation	91,4	8,6
Groupe Contrôle		
1 <sup>e</sup> évaluation	83,5	16,5
2 <sup>e</sup> évaluation	80,7	19,3

**Tableau 17 :**  
Répartition des préférences des tests selon les groupes contrôle – dyschromate

#### 4.4. Critères de fiabilité

Ci-après sont présentés les tableaux de contingence dont les données permettent d'évaluer les performances diagnostiques des tests 15 Hue standard et CVET test.

	Dyschromate (n = 70)	Sain (n = 85)	Total
Test 15 Hue Standard			
15 Hue +	52 (VP)	1 (FP)	53
15 hue -	9 (FN)	48 (VN)	57
non contributif	7	35	42
Total	68	84	152
CVET test			
CVET +	67 (VP)	3 (FP)	70
CVET -	3 (FN)	81 (VN)	84
non contributif	0	0	0
Total	70	84	154

**Tableau 18 :**

**Tableau de contingence des tests 15 Hue standard et CVET test lors de la 1<sup>e</sup> évaluation de l'œil droit.**

VP : Vrai positif, FN : Faux négatif, FP : Faux positif, VN : Vrai négatif.

2 résultats manquants et 1 perdu de vue pour le 15 Hue standard, et 1 perdu de vue pour le CVET test.

	Dyschromate (n = 70)	Sain (n = 85)	Total
Test 15 Hue Standard			
15 Hue +	49 (VP)	2(FP)	51
15 hue -	11 (FN)	51 (VN)	62
non contributif	8	31	39
Total	68	84	152
CVET test			
CVET +	67 (VP)	3 (FP)	70
CVET -	3 (FN)	81 (VN)	84
non contributif	0	0	0
Total	70	84	154

**Tableau 19 :**

**Tableau de contingence des tests 15 Hue standard et CVET test lors de la 1<sup>e</sup> évaluation de l'œil gauche.**

VP : Vrai positif, FN : Faux négatif, FP : Faux positif, VN : Vrai négatif.

2 résultats manquants et 1 perdu de vue pour le 15 Hue standard, et 1 perdus de vue pour le CVET test.

	Dyschromate (n = 70)	Sain (n = 85)	Total
Test 15 Hue Standard			
15 Hue +	46 (VP)	0 (FP)	46
15 hue -	9 (FN)	35 (VN)	44
non contributif	3	22	25
Total	58	57	115
CVET test			
CVET +	57 (VP)	0 (FP)	57
CVET -	1 (FN)	57 (VN)	58
non contributif	0	0	0
Total	58	57	115

**Tableau 20 :**

**Tableau de contingence des tests 15 Hue standard et CVET test lors de la 2<sup>e</sup> évaluation de l'œil droit.**

VP : Vrai positif, FN : Faux négatif, FP : Faux positif, VN : Vrai négatif.

40 perdus de vue pour le 15 Hue standard, et 40 perdus de vue pour le CVET test.

	Dyschromate (n = 70)	Sain (n = 85)	Total
Test 15 Hue Standard			
15 Hue +	43 (VP)	0 (FP)	43
15 hue -	11 (FN)	39 (VN)	50
non contributif	4	18	22
Total	58	57	115
CVET test			
CVET +	57 (VP)	1 (FP)	58
CVET -	1 (FN)	56 (VN)	57
non contributif	0	0	0
Total	58	57	115

**Tableau 21 :**

**Tableau de contingence des tests 15 Hue standard et CVET test lors de la 2<sup>e</sup> évaluation de l'œil gauche.**

VP : Vrai positif, FN : Faux négatif, FP : Faux positif, VN : Vrai négatif.

40 perdus de vue pour le 15 Hue standard, et 40 perdus de vue pour le CVET test.



#### 4.4.1.Sensibilité des tests

La sensibilité d'un test est la probabilité que le test soit positif si la personne est atteinte de la maladie. En d'autres termes, c'est la capacité d'un test à trouver les sujets malades parmi les sujets malades.

Ici, la sensibilité correspond au nombre de patients dyschromates ayant un test positif (vrais positifs) parmi l'ensemble des patients dyschromates.

$$Se = \frac{VP}{VP + FN}$$

*Se* : Sensibilité, *VP* : Vrai positif, *FN* : Faux négatif

La sensibilité du CVET test est significativement plus importante que celle du test 15 Hue standard de Farnsworth, et ce quel que soit la latéralité (œil droit ou œil gauche), ou l'évaluation.

- Lors de la 1<sup>e</sup> évaluation, concernant l'œil droit, la sensibilité du test 15 Hue standard de Farnsworth était de 76,5% contre 95,7% pour le CVET test (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ). Concernant l'œil gauche, la sensibilité du test 15 Hue standard de Farnsworth était de 73,5% contre 95,7% pour le CVET test (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ).
- Lors de la 2<sup>e</sup> évaluation, concernant l'œil droit, la sensibilité du test 15 Hue standard de Farnsworth était de 79,3% contre 98,3% pour le CVET test (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ). Concernant l'œil gauche, la sensibilité du test 15 Hue standard de Farnsworth était de 74,1% contre 98,3% pour le CVET test (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ).

	15 Hue standard (%)	CVET test (%)	Valeur p*
1 <sup>e</sup> évaluation			
OD	76,5	95,7	< 0,001
OG	73,5	95,7	< 0,001
2 <sup>e</sup> évaluation			
OD	79,3	98,3	< 0,001
OG	74,1	98,3	< 0,001

**Tableau 22 :**

**Estimations des sensibilités des tests 15 Hue standard et CVET test dans le diagnostic des dyschromatopsies congénitales (\* Test Wilcoxon)**

#### 4.4.2. Spécificité des tests

La spécificité d'un test est probabilité que le test soit négatif si la personne testée est indemne de la maladie. En d'autres termes, c'est la capacité d'un test à trouver les sujets sains parmi les sujets sains.

Ici, la spécificité correspond au nombre de patients normaux ayant un test négatif (vrais négatifs) parmi l'ensemble des patients normaux.

$$Sp = \frac{VN}{VN + FP}$$

*Sp* : Spécificité, *VN* : Vrai négatif, *FP* : Faux positif

La spécificité du CVET test est significativement plus importante que celle du test 15 Hue standard de Farnsworth, et ce quel que soit la latéralité (œil droit ou œil gauche), ou l'évaluation.

- Lors de la 1<sup>e</sup> évaluation, concernant l'œil droit, la spécificité du test 15 Hue standard de Farnsworth était de 57,1% contre 96,4% pour le CVET test (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ). Concernant l'œil gauche, la spécificité du test 15 Hue standard de Farnsworth était de 60,7% contre 96,4% pour le CVET test (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ).
- Lors de la 2<sup>e</sup> évaluation, concernant l'œil droit, la spécificité du test 15 Hue standard de Farnsworth était de 61,4% contre 98,2% pour le CVET test (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ). Concernant l'œil gauche, la spécificité du test 15 Hue standard de Farnsworth était de 68,4% contre 98,2% pour le CVET test (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ).

	15 Hue standard (%)	CVET test (%)	Valeur p*
1 <sup>e</sup> évaluation			
OD	57,1	96,4	< 0,001
OG	60,7	96,4	< 0,001
2 <sup>e</sup> évaluation			
OD	61,4	98,2	< 0,001
OG	68,4	98,2	< 0,001

**Tableau 23 :**

**Estimations des spécificités des tests 15 Hue standard et CVET test dans le diagnostic des dyschromatopsies congénitales (\* Test Wilcoxon)**

Le CVET test est donc plus performant pour exclure les dyschromates en cas de négativité du test d'une part (meilleure spécificité), et d'autre part pour confirmer la dyschromatopsie en cas de positivité du test (meilleure sensibilité).

### 4.4.3. Courbe ROC

La courbe ROC, pour « Receiver Operating Characteristic », est la représentation graphique de la relation existante entre la sensibilité et la spécificité d'un test qualitatif à chacune des valeurs seuils possibles de ce test.

La réalisation d'une telle courbe poursuit plusieurs objectifs.

Le premier étant de déterminer la validité diagnostique d'un test par l'étude de l'aire sous la courbe associé au dit test. En effet, plus l'aire sous la courbe est importante, plus le test est discriminant, autrement dit plus le test est performant pour différencier les sujets malades des sujets non malades. Ainsi, peuvent être définies différentes catégories de test, allant du test parfait (aire =1) au test d'apport nul (aire = 0,5).

Le deuxième objectif de cette courbe vise à définir une valeur cut-off à partir de laquelle les résultats du test sont classés négatifs ou positifs. La meilleure valeur cut-off est celle qui réussit à maximiser à la fois la sensibilité et la spécificité du test, c'est à dire la valeur permettant de détecter un maximum de patients malades (sensibilité) et d'écarter un maximum de patients sains (haute spécificité).

Dans cette étude, les tests 15 Hue standard et CVET test ont été assimilés à deux tests diagnostiques quantitatifs pour lesquels des résultats d'intensité croissante de dyschromatopsie ont été obtenus via le calcul d'un score de gravité spécifique à chacun des tests. Ce score de gravité apporte une indication sur l'importance du déficit de la vision colorée, sans pour autant qu'en cas de positivité il soit systématiquement associé au diagnostic de dyschromatopsie.

En effet, pour le test 15 Hue standard de Farnsworth, la présence de 1 à 3 erreurs de contiguïté équivaut à un résultat non significatif avec un score de gravité positif sans pour autant qu'il y ait de dyschromatopsie vraie. Aussi, pour le CVET test, la non lecture de la 10<sup>e</sup> et de la 9<sup>e</sup> planche d'étalonnage de chacune des 6 séries équivaut à une faible discrimination chromatique avec un score de gravité positif sans que le diagnostic de dyschromatopsie ne soit retenu.

Nous avons donc analysé les courbes ROC du test 15 Hue standard de Farnsworth et du CVET test pour chaque valeur obtenue du score de gravité de dyschromatopsie, et ce pour les deux yeux aux deux évaluations des patients dyschromates.

Puis, à partir de ces courbes, nous avons pu proposer un score seuil diagnostique de dyschromatopsie pour chaque test aux différentes situations.

Voici ci-après récapitulés les valeurs respectives des aires sous les courbes ROC pour chaque test, chaque évaluation et chaque œil.

	Aire sous la courbe ROC	
	CVET	15 Hue standard
1 <sup>e</sup> évaluation		
OD	0,961 (ES 0,18)	0,874 (ES 0,31)
OG	0,967 (ES 0,17)	0,878 (ES 0,30)
2 <sup>e</sup> évaluation		
OD	0,987 (ES 0,11)	0,883 (ES 0,34)
OG	0,989 (ES 0,1)	0,870 (ES 0,36)

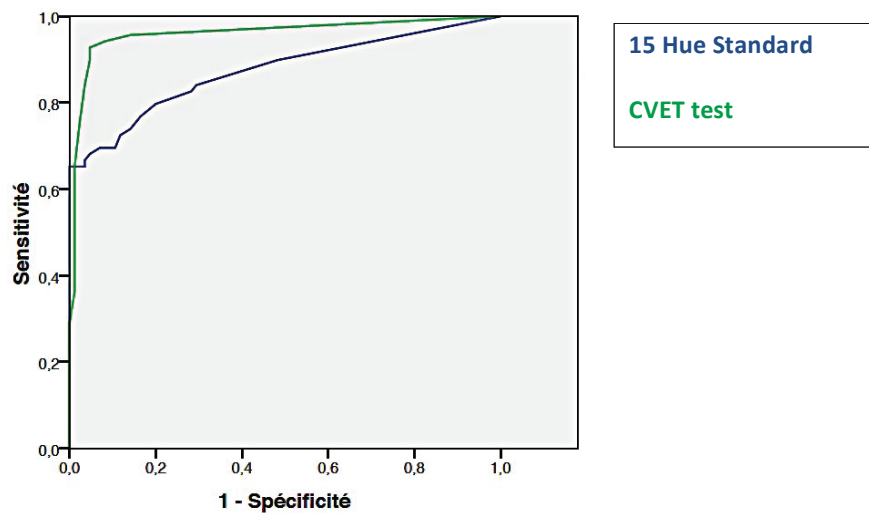
**Tableau 24 :**

**Aires sous les courbes ROC des tests 15 Hue standard et CVET test pour chaque œil aux deux évaluations.**

ES : Erreur standard, ROC : Receiver Operating Characteristic

- Concernant l'œil droit lors de la 1<sup>e</sup> évaluation :

L'analyse comparative des aires sous les courbes ROC des deux tests a révélé une aire supérieure pour le CVET test par rapport au test 15 Hue standard de Farnsworth : 0,961 (erreur standard 0,18) contre 0,874 (erreur standard 0,31).



**Figure 25 :**

**Courbes ROC des test 15 Hue Standard et CVET test lors la 1<sup>e</sup> évaluation de l'œil droit dans le diagnostic des dyschromatopsies.**

Test 15 Hue standard de Farnsworth OD 1 <sup>e</sup> évaluation		
Valeurs du score de gravité	Sensibilité	1 - Spécificité
-1,00	1,000	1,000
0,50	,899	,482
1,50	,884	,435
2,50	,841	,294
<b>3,50</b>	<b>,826 (82,6%)</b>	<b>,282 (71,8%)</b>
4,50	,797	,200
5,50	,768	,165
6,50	,739	,141
7,50	,725	,118
8,50	,696	,106
9,50	,696	,094
10,50	,696	,071
11,50	,681	,047
12,50	,667	,035
13,50	,652	,035
15,50	,652	,024
17,50	,652	,012
18,50	,652	,000
20,00	,623	,000
22,00	,609	,000
23,50	,580	,000
24,50	,522	,000
25,50	,507	,000
26,50	,493	,000
27,50	,478	,000
28,50	,464	,000
30,00	,449	,000
32,00	,406	,000
33,50	,348	,000
34,50	,304	,000
36,00	,290	,000
38,00	,246	,000
39,50	,188	,000
40,50	,145	,000
41,50	,116	,000
43,00	,072	,000
44,50	,058	,000
45,50	,043	,000
47,50	,029	,000
50,00	,000	,000

**Tableau 25 :**

Coordonnées de la courbe ROC du test 15 Hue standard de Farnsworth lors de la 1<sup>e</sup> évaluation de l'œil droit.

CVET Test OD 1 <sup>e</sup> évaluation		
Valeurs du score de gravité	Sensibilité	1 - Spécificité
-1,00	1,000	1,000
0,50	,957	,141
1,50	,942	,082
<b>2,50</b>	<b>,928 (92,8%)</b>	<b>,047 (95,3%)</b>
3,50	,899	,047
4,50	,841	,035
5,50	,754	,024
6,50	,652	,012
7,50	,551	,012
8,50	,478	,012
9,50	,420	,012
10,50	,362	,012
11,50	,290	,000
12,50	,145	,000
13,50	,101	,000
15,00	,058	,000
17,00	,000	,000

**Tableau 26 :**

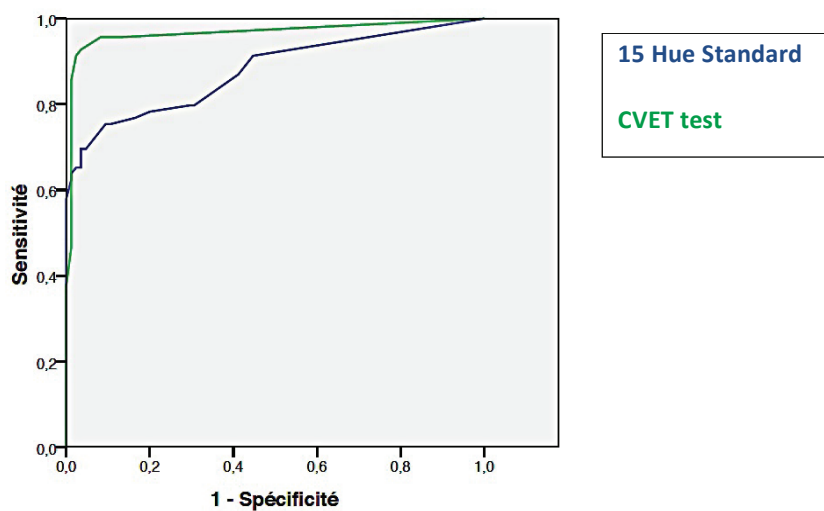
Coordonnées de la courbe ROC du CVET test lors de la 1<sup>e</sup> évaluation de l'œil droit.

Le score seuil retenu pour le diagnostic de dyschromatopsie de l'œil droit à la 1<sup>e</sup> évaluation était de 3,5 points pour le test 15 Hue standard de Farnsworth (sensibilité : 82,6% et spécificité 71,8%), et de 2,5 points pour le CVET test (sensibilité : 92,8% et spécificité : 95,3%).



- Concernant l'œil gauche lors de la 1<sup>e</sup> évaluation :

L'analyse comparative des aires sous les courbes ROC des deux tests a révélé une aire supérieure pour le CVET test par rapport au test 15 Hue standard de Farnsworth : 0,967 (erreur standard 0,17) contre 0,878 (erreur standard 0,30).



**Figure 26 :**

**Courbes ROC des test 15 Hue Standard et CVET test lors la 1<sup>e</sup> évaluation de l'œil gauche dans le diagnostic des dyschromatopsies.**

15 Hue de Farnsworth OG 1 <sup>e</sup> évaluation		
Valeurs score gravité	Sensibilité	1 - Spécificité
-1,00	1,000	1,000
,50	,913	,447
1,50	,870	,412
2,50	,797	,306
3,50	,797	,294
<b>4,50</b>	<b>,783 (78,3%)</b>	<b>,200 (80%)</b>
5,50	,768	,165
6,50	,754	,106
7,50	,754	,094
8,50	,725	,071
9,50	,696	,047
10,50	,696	,035
12,50	,681	,035
14,50	,667	,035
16,00	,652	,035
17,50	,652	,024
18,50	,638	,012
20,00	,623	,000
21,50	,580	,000
22,50	,565	,000
23,50	,536	,000
25,50	,522	,000
27,50	,507	,000
28,50	,493	,000
29,50	,478	,000
30,50	,435	,000
31,50	,420	,000
32,50	,391	,000
33,50	,348	,000
34,50	,319	,000
35,50	,304	,000
36,50	,246	,000
37,50	,217	,000
38,50	,159	,000
39,50	,130	,000
40,50	,116	,000
42,00	,087	,000
43,50	,058	,000
44,50	,043	,000
47,00	,029	,000
51,00	,014	,000
54,00	,000	,000

**Tableau 27 :**

Coordonnées de la courbe ROC du test 15 Hue standard de Farnsworth lors de la 1<sup>e</sup> évaluation de l'œil gauche.

CVET test OG 1 <sup>e</sup> évaluation		
Valeurs score gravité	Sensibilité	1 - Spécificité
-1,00	1,000	1,000
,50	,957	,129
1,50	,957	,082
<b>2,50</b>	<b>,928 (92,8%)</b>	<b>,035 (96,5%)</b>
3,50	,913	,024
4,50	,855	,012
5,50	,826	,012
6,50	,725	,012
7,50	,667	,012
8,50	,522	,012
9,50	,464	,012
10,50	,377	,000
11,50	,261	,000
12,50	,203	,000
13,50	,130	,000
14,50	,072	,000
15,50	,043	,000
16,50	,029	,000
18,00	,000	,000

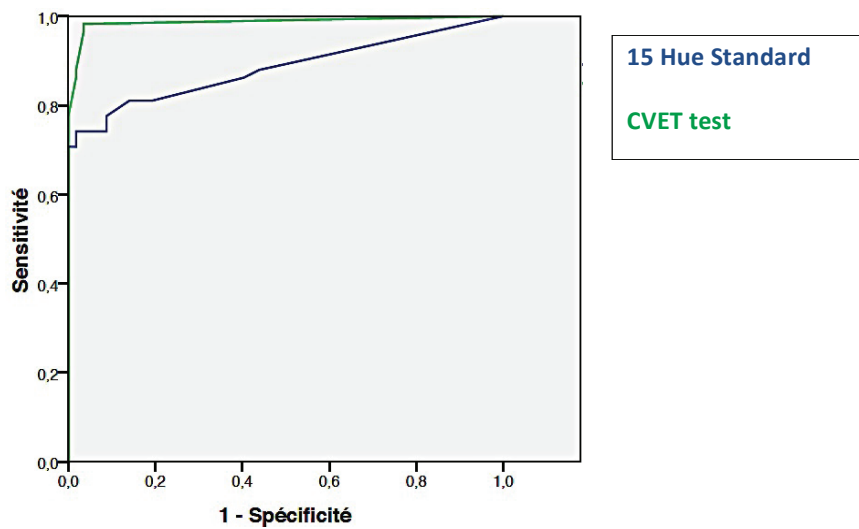
**Tableau 28 :**

**Coordonnées de la courbe ROC du CVET test lors de la 1<sup>e</sup> évaluation de l'œil gauche.**

Le score seuil retenu pour le diagnostic de dyschromatopsie de l'œil gauche à la 1<sup>e</sup> évaluation était de 4,5 points pour le test 15 Hue standard de Farnsworth (sensibilité : 78,3% et spécificité 80%), et de 2,5 points pour le CVET test (sensibilité : 92,8% et spécificité : 96,5%).

- Concernant l'œil droit lors de la 2<sup>e</sup> évaluation :

L'analyse comparative des aires sous les courbes ROC des deux tests a révélé une aire supérieure pour le CVET test par rapport au test 15 Hue standard de Farnsworth : 0,987 (erreur standard 0,11) contre 0,883 (erreur standard 0,34).



**Figure 27 :**

**Courbes ROC des test 15 Hue Standard et CVET test lors la 2<sup>e</sup> évaluation de l'œil droit dans le diagnostic des dyschromatopsies.**

15 Hue de Farnsworth OD 2 <sup>e</sup> évaluation		
Valeurs score gravité	Sensibilité	1 - Spécificité
-1,00	1,000	1,000
,50	,879	,439
1,50	,862	,404
2,50	,810	,193
<b>3,50</b>	<b>,810 (81%)</b>	<b>,140 (86%)</b>
4,50	,776	,088
5,50	,759	,088
6,50	,741	,088
7,50	,741	,035
9,50	,741	,018
11,50	,724	,018
13,00	,707	,018
15,50	,707	,000
19,00	,690	,000
21,50	,655	,000
23,00	,603	,000
24,50	,586	,000
26,00	,569	,000
28,00	,552	,000
29,50	,534	,000
30,50	,517	,000
31,50	,431	,000
32,50	,414	,000
33,50	,345	,000
34,50	,259	,000
35,50	,241	,000
36,50	,224	,000
37,50	,155	,000
38,50	,121	,000
39,50	,086	,000
40,50	,069	,000
42,00	,052	,000
44,00	,034	,000
46,50	,017	,000
49,00	,000	,000

**Tableau 29 :**

Coordonnées de la courbe ROC du test 15 Hue standard de Farnsworth lors de la 2<sup>e</sup> évaluation de l'œil droit.

CVET test OD 2 <sup>e</sup> évaluation		
Valeurs score gravité	Sensibilité	1 - Spécificité
-1,00	1,000	1,000
1,00	,983	,053
<b>2,50</b>	<b>,983 (98,3%)</b>	<b>,035 (96,5%)</b>
3,50	,966	,035
4,50	,879	,018
5,50	,862	,018
6,50	,776	,000
7,50	,603	,000
8,50	,534	,000
9,50	,448	,000
10,50	,379	,000
11,50	,328	,000
12,50	,207	,000
13,50	,103	,000
14,50	,052	,000
15,50	,034	,000
16,50	,017	,000
18,00	,000	,000

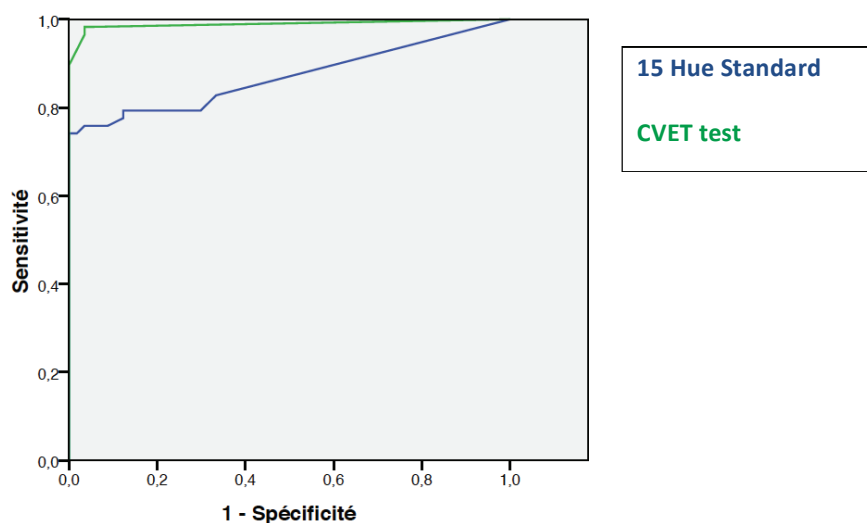
**Tableau 30 :**

**Coordonnées de la courbe ROC du CVET test lors de la 2<sup>e</sup> évaluation de l'œil droit.**

Le score seuil retenu pour le diagnostic de dyschromatopsie de l'œil droit à la 2<sup>e</sup> évaluation était de 3,5 points pour le test 15 Hue standard de Farnsworth (sensibilité : 81% et spécificité 86%), et de 2,5 points pour le CVET test (sensibilité : 98,3% et spécificité : 96,5%).

- Concernant l'œil gauche lors de la 2<sup>e</sup> évaluation :

L'analyse comparative des aires sous les courbes ROC des deux tests a révélé une aire supérieure pour le CVET test par rapport au test 15 Hue standard de Farnsworth : 0,989 (erreur standard 0,10) contre 0,870 (erreur standard 0,36).



**Figure 28 :**

**Courbes ROC des test 15 Hue Standard et CVET test lors la 2<sup>e</sup> évaluation de l'œil gauche dans le diagnostic des dyschromatopsies.**

15 Hue de Farnsworth OG 2 <sup>e</sup> évaluation		
Valeurs score gravité	Sensibilité	1 - Spécificité
-1,00	1,000	1,000
,50	,828	,333
1,50	,793	,298
2,50	,793	,211
<b>3,50</b>	<b>,793 (79,3%)</b>	<b>,123 (87,7%)</b>
4,50	,776	,123
5,50	,759	,088
6,50	,759	,053
7,50	,759	,035
9,00	,741	,018
12,50	,741	,000
16,50	,724	,000
20,50	,707	,000
23,50	,672	,000
24,50	,655	,000
25,50	,621	,000
27,00	,586	,000
29,00	,552	,000
30,50	,500	,000
31,50	,431	,000
32,50	,397	,000
33,50	,328	,000
34,50	,259	,000
36,00	,241	,000
37,50	,190	,000
38,50	,155	,000
39,50	,103	,000
40,50	,086	,000
41,50	,069	,000
43,50	,034	,000
50,50	,017	,000
57,00	,000	,000

**Tableau 31 :**

Coordonnées de la courbe ROC du test 15 Hue standard de Farnsworth lors de la 2<sup>e</sup> évaluation de l'œil gauche.



CVET test OG 2 <sup>e</sup> évaluation		
Valeurs score gravité	Sensibilité	1 - Spécificité
-1,00	1,000	1,000
,50	,983	,053
<b>2,00</b>	<b>,983 (98,3)</b>	<b>,035 (96,5%)</b>
3,50	,966	,035
4,50	,931	,018
5,50	,897	,000
6,50	,810	,000
7,50	,690	,000
8,50	,534	,000
9,50	,431	,000
10,50	,397	,000
11,50	,310	,000
12,50	,172	,000
13,50	,103	,000
14,50	,069	,000
16,00	,017	,000
18,00	,000	,000

**Tableau 32 :**

Coordonnées de la courbe ROC du CVET test lors de la 2<sup>e</sup> évaluation de l'œil gauche.

Le score seuil retenu pour le diagnostic de dyschromatopsie de l'œil gauche à la 2<sup>e</sup> évaluation était de 3,5 points pour le test 15 Hue standard de Farnsworth (sensibilité : 79,3% et spécificité 87,7%), et de 2 points pour le CVET test (sensibilité : 98,3% et spécificité : 96,5%).

Au total, le CVET test est un test diagnostique plus discriminant que le test 15 Hue standard de Farnsworth dans le diagnostic des dyschromatopsies.

Les scores cut-off retenus étaient en moyenne de 2,37 points pour le CVET test et de 3,75 points pour le test 15 Hue standard de Farnsworth.

## 4.5. Concordance

Deux tests sont dits concordants lorsque leurs résultats pour une même mesure sont analogues et permettent d'arriver à une conclusion identique.

Lors de la 1<sup>e</sup> évaluation, concernant l'œil droit, 9 discordances (8,2%) ont été observées sur les 110 résultats contributifs obtenus aux 2 tests. Dans les 9 cas, cette discordance s'est traduite par un résultat positif dyschromate pour le CVET test et normal pour le test 15 Hue standard de Farnsworth.

Concernant l'œil gauche, sur les 110 résultats contributifs, 11 discordances (10%) ont été observées. Dans 10 des 11 cas, cette discordance s'est traduite par un résultat positif dyschromate pour le CVET test et normal pour le test 15 Hue standard de Farnsworth. Pour le dernier cas, la discordance correspondait à un résultat positif dyschromate pour le test 15 Hue standard de Farnsworth et normal pour le CVET test.

Lors de la seconde évaluation, concernant l'œil droit, 9 discordances (10%) ont été observées sur les 90 résultats contributifs obtenus aux 2 tests. Dans les 9 cas, cette discordance s'est traduite par un résultat positif dyschromate pour le CVET test et normal pour le test 15 Hue standard de Farnsworth.

Concernant l'œil gauche lors, sur les 93 résultats contributifs, 11 discordances (11,8%) ont été observées. Dans les 11 cas, cette discordance s'est traduite par un résultat positif dyschromate pour le CVET test et normal pour le test 15 Hue standard de Farnsworth.

Latéralité	Discordance	Total (résultats contributifs aux 2 tests)
1 <sup>e</sup> évaluation		
OD	9 (8,2%)	110
OG	11 (10%)	110
2 <sup>e</sup> évaluation		
OD	9 (10%)	90
OG	11 (11,8%)	93

**Tableau 33 :**

**Discordance de résultats entre les tests 15 Hue standard de Farnsworth et CVET test.**

#### **4.6. Reproductibilité**

La reproductibilité des résultats des tests a été évaluée d'une évaluation à l'autre pour chaque œil.

Concernant le test 15 Hue standard de Farnsworth, les deux évaluations successives de l'œil droit ont révélés un diagnostic différent pour 7 des 52 yeux. Cette différence de diagnostic s'est répartie de la façon suivante : 3 diagnostics initiaux de dyschromatopsies rouge-vert sans détermination précise d'axe ont basculé en dyschromatopsie de type protan, 1 diagnostic initial normal a basculé en dyschromatopsie de type protan, 1 diagnostic initial de dyschromatopsie de type protan a basculé en normal, 1 diagnostic initial de dyschromatopsie de type deutan a basculé en normal, et 1 diagnostic initial de dyschromatopsie rouge-vert sans détermination précise d'axe a basculé en dyschromatopsie de type deutan.

Concernant le test 15 Hue standard de Farnsworth, les deux évaluations successives de l'œil gauche ont révélés un diagnostic différent pour 4 des 49 yeux. Cette différence de diagnostic s'est répartie de la façon suivante : 2 diagnostics initiaux de dyschromatopsie rouge-vert sans détermination précise d'axe a basculé en dyschromatopsie de type protan, 1 diagnostic initial de dyschromatopsie rouge-vert sans détermination précise d'axe a basculé en normal, et 1 diagnostic initial de dyschromatopsie de type protan a basculé en dyschromatopsie de type deutan.

Concernant le CVET test, aucune différence de diagnostic n'a été observée pour l'œil droit comme pour l'œil gauche lors des deux évaluations successives.

La reproductibilité d'une évaluation à l'autre, pour l'œil droit comme pour l'œil gauche est significativement plus importante pour le CVET test comparativement au test 15 Hue standard de Farnsworth. Concernant l'œil droit, la reproductibilité du CVET test a été de 100% contre 86,8% pour le 15 Hue standard de Farnsworth (test Chi-2,  $p = 0,004$ ). Concernant l'œil gauche, la reproductibilité du CVET test a été de 100% contre 90% pour le 15 Hue standard de Farnsworth (test Chi-2,  $p = 0,01$ ).

	CVET test (%)	15 Hue standard (%)	Valeur $p^*$
OD	100	86,8	= 0,004
OG	100	90	= 0,01

**Tableau 34 :**

**Reproductibilité des tests 15 Hue standard et CVET test lors des deux évaluations successives.**

*(\* test Chi-2)*

## **5. DISCUSSION**

## 5.1. Protocole de l'étude

L'objectif de cette étude était d'évaluer la validité d'un nouveau test diagnostique de la vision des couleurs, le *Color Vision Evaluation Test*, et de le comparer au test de référence chez les enfants, le test 15 Hue standard de Farnsworth.

Le but final était de définir le meilleur test diagnostique dans les dyschromatopsies congénitales en terme de fiabilité, de faisabilité et de reproductibilité.

La difficulté dans l'évaluation de la vision des couleurs repose sur l'interprétation des résultats, et ce d'autant plus en pédiatrie. En effet, comme pour toute évaluation de la fonction visuelle, il s'agit d'une évaluation subjective à l'origine d'une certaine incertitude diagnostique.

Le test idéal serait un test rapide et fiable capable de diagnostiquer tout type de dyschromatopsie, qu'elle soit héréditaire ou acquise, d'axe protan, deutan ou tritan, et de quantifier l'intensité du déficit chromatique.

Comme nous l'avons vu précédemment, l'examen gold standard dans le diagnostic des dyschromatopsies est l'anomaloscope. Il s'agit du seul test capable de qualifier et de quantifier de manière précise et reproductible toutes les catégories de dyschromatopsies, et de différencier avec certitude les dichromatismes des trichromatismes anormaux. Cependant, la nécessité d'un examinateur expérimenté, son coût et son manque de disponibilité limitent son utilisation dans la pratique clinique quotidienne.

Les autres tests utilisés pour le diagnostic des dyschromatopsies congénitales sont les tests d'assortiment. Les trois principaux étant le 100 Hue de Farnsworth, le 15 hue de Farnsworth, et le 15 Hue désaturé de Lanthony.

Dans notre étude de validité, ce sont les planches pseudo-isochromatiques d'Ishihara qui nous ont permis dans un premier temps de dépister les enfants daltoniens, et ainsi de les classer en deux groupes : un groupe dyschromate et un groupe contrôle. En effet, pour un dépistage de masse des dyschromatopsies congénitales, ce test semble être le test le plus adapté de par sa sensibilité, sa facilité d'exécution et sa facilité d'interprétation. (41-44)

Puis, une fois les deux groupes constitués, notre choix s'est porté sur le test 15 Hue standard de Farnsworth comme test de référence dans le diagnostic des dyschromatopsies congénitales. En effet, il s'agit d'un test diagnostique simple, facile à mettre en œuvre, rapide et ouvert, qui est efficace pour séparer les sujets normaux des sujets dichromates. En outre, de par ces qualités, c'est un test adapté aux enfants.

En revanche, le test 15 Hue de Farnsworth s'avère insuffisant dans le diagnostic des trichromates anormaux légers, lesquels peuvent effectuer le test sans faute et s'apparenter à des sujets normaux. (45) De plus, il ne permet pas de quantifier l'intensité d'un trichromatisme anormal. En effet, comme l'ensemble des tests d'assortiment, il ne donne que l'axe principal de la dyschromatopsie et ne fournit aucune information sur la largeur ou sur l'amplitude de la zone neutre. (36)

Le non choix des deux autres tests d'assortiment s'explique pour les raisons suivantes.

Concernant le test 100 Hue de Farnsworth, il s'agit d'un test très long dont la durée moyenne d'examen est de 15 minutes par œil. De plus, le test est de compréhension assez difficile imposant de fait un certain niveau de discernement de la part du patient. (46)

Concernant le test 15 Hue désaturé de Lanthony, il s'agit là aussi d'un test de réalisation difficile de par le faible niveau de saturation des pions (« chroma » 2), et de par la plus grande proximité chromatique entre ces derniers. En revanche, il s'agit d'un test rapide et ouvert permettant de diagnostiquer plus facilement les dichromatismes anormaux légers à modérés. (47)

De la même manière, la nature de notre population étudiée a orienté notre choix vers le test 15 Hue standard de Farnsworth. En effet, avant l'âge de 8 ans, la plupart des tests restent peu adaptés et non contributifs dans le diagnostic précis des dyschromatopsies. Ceci s'explique par une capacité de compréhension et d'attention plus limitée chez les enfants. Ainsi, pour les examens trop longs ou complexes, les jeunes patients présentent une tendance à la fatigabilité et à la lassitude plus élevée que les patients d'âge adulte. Ces particularités majorent le taux d'erreur des tests, ce qui rend plus difficile l'interprétation des résultats en raison de l'augmentation de la non-significativité de ces derniers. (48)

## **5.2. Caractéristiques de la population étudiée**

En premier lieu, en ce qui concerne le sexe des patients considérés, et de manière semblable aux études antérieures sur le sujet, nous n'avons pas mis en évidence de différence de sexe dans le groupe contrôle (56% vs 44%). En revanche, nous retrouvons une prédominance masculine significative dans le groupe dyschromate (92,9% avec  $p < 0,001$ ). (20, 21, 49)

Du point de vue de la fréquence de distribution des dyschromatopsies héréditaires, nous rapportons, au cours des évaluations réalisées à l'aide du CVET test, 28 cas de



protanomalie (40%) lors de la 1<sup>e</sup> évaluation, et 26 cas (46%) lors de la seconde. Les cas rapportés de deutéranomalie sont quant à eux inférieurs avec 20 cas (28%) lors de la 1<sup>e</sup> évaluation, et 14 cas (24%) lors de la deuxième évaluation.

Ainsi, notre proportion de protanomalie comparativement à celle de deutéranomalie se révèle supérieure à celle mentionnée dans la littérature pour une population similaire d'origine caucasienne. ([23](#), [50-53](#))

En effet, le ratio constaté dans notre série est de 1,58 cas de protanomalie pour 1 cas de deutéranomalie. Le ratio habituellement observé est quant-à-lui de 4,29 cas de deutéranomalie pour 1 cas de protanomalie. Néanmoins, ces différences rapportées peuvent s'expliquer en partie par le fait que notre étude n'est pas une étude épidémiologique de prévalence, mais une étude de validité.

Par ailleurs, aucun cas de tritanopie congénitale n'a été diagnostiqué dans notre série.

### **5.3. Critères de faisabilité**

Dans notre série, le test 15 Hue standard de Farnsworth et le CVET test sont comparables concernant leurs temps d'explication avec en moyenne 18,8 secondes d'explication pour le CVET test et 17,7 secondes pour le 15 Hue standard de Farnsworth. Ceci traduit une bonne facilité de compréhension du CVET test, à l'égal du test 15 Hue standard de Farnsworth.

Concernant le temps de réalisation par œil, les tests 15 Hue standard de Farnsworth et le CVET test sont comparables dans le groupe contrôle, avec une moyenne de 1 minute et 55 secondes pour le CVET test à la 1<sup>e</sup> évaluation de l'œil droit, et 1 minute et 46 secondes pour le 15 Hue standard de Farnsworth lors de la même évaluation pour le même œil. Les

temps de réalisation que nous rapportons pour le test 15 Hue standard de Farnsworth sont similaires à ceux retrouvés dans la littérature. (54, 55)

En revanche, pour le CVET test, le temps de réalisation est plus important chez les patients dyschromates avec une moyenne de 4 minutes et 5 secondes à la 1<sup>e</sup> évaluation de l'œil droit, contre 2 minutes et 6 secondes pour le 15 Hue standard lors de la même évaluation pour le même œil (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ). Cette différence de temps peut s'expliquer en partie par un plus grand nombre de planches d'étalonnage évaluées sur les axes protan et deutan dans le groupe dyschromate. Néanmoins, bien que ce temps de réalisation soit supérieur, il reste très acceptable faisant du CVET test un examen d'exécution brève.

En ce qui concerne la facilité d'exécution, le CVET test se révèle plus accessible avec une note moyenne de 2,63 points sur 3 contre 2 points pour le 15 Hue standard de Farnsworth (test de Wilcoxon  $p < 0,001$ ). En effet, nous avons constaté dans notre étude des difficultés pour certains enfants à effectuer le test 15 Hue standard de Farnsworth, essentiellement par perte d'attention et manque de capacités.

Enfin, des deux tests évalués, le CVET test est celui recueillant la préférence des exécutants et ce dans chacun des deux groupes, avec en moyenne plus de 80% des patients séduits par l'aspect ludique du test.

#### **5.4. Critères de fiabilité**

Dans notre étude, la validité intrinsèque du CVET test s'est révélée significativement supérieure à celle du 15 Hue standard de Farnsworth.

En effet, la sensibilité est en moyenne de 97% pour le CVET test contre 76% pour le 15 Hue standard de Farnsworth. La spécificité est, quant-à-elle, de 97,3% en moyenne pour le CVET test contre 62% pour le test 15 Hue standard de Farnsworth.

Nous rapportons un taux moyen de faux négatifs de 7,6% pour le test 15 Hue standard de Farnsworth. Il s'agit pour la plupart de trichromatismes anormaux de type deutéranomalie. Pour le CVET test, le taux moyen de faux positifs est de 1,3%. Il s'agit pour la plupart de faibles discriminations chromatiques.

Il semble à travers la littérature que nos résultats soient comparables à ceux des autres séries avec des valeurs rapportées de sensibilité pour le test 15 Hue standard de Farnsworth variant de 62,5% à 74%. ([55-59](#))

Par ailleurs, notre étude n'a révélé aucun cas de tritanopie congénitale. Si cela s'était produit, nous aurions pu constater un taux plus élevé de faux négatifs pour le test 15 Hue standard de Farnsworth, l'explication étant intrinsèquement liée à la conception même du test. En effet, celui-ci présente 2 fois moins de pions spécifiques à l'axe bleu-jaune comparativement à ceux de l'axe rouge-vert, ce qui exclue de fait et majoritairement les confusions selon l'axe tritan. Le test 15 hue standard de Farnsworth tend donc à sous-évaluer les patients présentant une tritanopie congénitale. ([21](#))

Le CVET test, quant à lui, grâce à ses 6 séries analogues de planches d'étalonnage, évalue de manière équivalente les différents axes des dyschromatopsies, qu'elles soient protan, deutan ou tritan. ([36](#))

Heureusement, les tritanopies congénitales sont des dyschromatopsies héréditaires rares dont la fréquence est évaluée à 0,002 à 0,007% dans la population générale d'origine caucasienne, ([23](#)) ce qui permet de tolérer l'imperfection diagnostique du test 15 Hue standard de Farnsworth pour cette pathologie.

De surcroît, nous avons défini la validité diagnostique de chacun des deux tests à partir des courbes ROC obtenues selon les scores de gravité.

Ainsi, notre série rapporte des aires sous les courbes systématiquement supérieures pour le CVET test, avec des aires variant de 0,961 (erreur standard de 0,18) à 0,989 (erreur standard de 0,1), contre 0,874 (erreur standard 0,31) à 0,883 (erreur standard 0,34) pour le test 15 Hue standard de Farnsworth.

D'autre part, la réalisation des courbes ROC nous a permis de déterminer un score cut-off optimal pour le diagnostic des dyschromatopsies. Les scores cut-off moyens retenus pour chacun des deux tests sont ceux pour lesquels les valeurs du couple sensibilité et spécificité sont les plus élevées. Ce score est de 2,37 pour le CVET test avec une sensibilité moyenne de 95,5% et une spécificité moyenne de 96,6%. Sur le plan clinique, ceci se traduit comme suit : un patient dont le score de gravité est strictement supérieur à 2 présente très probablement une dyschromatopsie, avec un faible risque de faux positif (3,4% de risque d'être assimilé à tort comme daltonien) et un faible risque de faux négatifs (4,5% de risque d'être assimilé à tort comme normal). Quant au test 15 Hue standard de Farnsworth, le score cut-off retenu est de 3,75 points avec une sensibilité moyenne de 80,3% et une spécificité moyenne de 80,6%. Du point de vue clinique, il apparaît qu'un patient dont le score de gravité est strictement supérieur à 3 présente très probablement une dyschromatopsie, avec un risque plus important de faux positif (19,4% de risque d'être assimilé à tort comme daltonien) et un risque également plus important de faux négatifs (19,7% de risque d'être assimilé à tort comme normal). La probabilité du test 15 Hue standard de Farnsworth de réaliser un mauvais diagnostic est donc nettement supérieure à la probabilité associée au CVET test.

Par ailleurs, la majorité des tests diagnostiques de classement, tel que le test 100 Hue de Farnsworth, utilisent les scores de gravités afin de déterminer la sévérité des déficits

chromatiques (de la faible discrimination chromatique à la dyschromatopsie sévère), et de suivre l'évolution dans le temps des dyschromatopsies acquises. (60)

En conséquence, notre analyse suggère que le CVET test, grâce au score de gravité proposé, peut aussi être employé avec précision pour évaluer et suivre l'intensité d'un déficit chromatique.

## **5.5. Reproductibilité des résultats**

Au cours de notre étude, le CVET test s'est révélé parfaitement reproductible lors des deux évaluations. En effet, aucune différence de résultats n'a été mise en évidence d'une évaluation à l'autre avec 100% de diagnostics identiques lors du re-test.

En revanche, concernant le test 15 Hue standard de Farnsworth, seulement 86,8 à 90% des résultats ont été identiques sur les deux évaluations.

Cette variabilité s'explique par le caractère ouvert du test 15 Hue standard de Farnsworth. Lequel induit une plus grande multiplicité des combinaisons s'offrant au patient lors de l'évaluation, contrairement au CVET test qui est un test fermé. (36) D'autre part, la nature pédiatrique de la population étudiée accentue la fluctuation des résultats, en raison des facteurs précédemment décrits au paragraphe 1. *Protocole de l'étude.*

## **5.6. Concordanance des résultats**

Notre étude a révélé des discordances pour 8,2 à 11,8% des résultats classés significatifs par le test 15 Hue standard de Farnsworth et le CVET test.

Trente neuf discordances sur les 40 recensées, soit 97,5% des cas, se sont traduites par des résultats positifs dyschromates pour le CVET test, et normaux pour le test 15 Hue standard de Farnsworth.

Cette importante proportion de faux négatifs rapportée par le test 15 Hue standard de Farnsworth conforte le manque de sensibilité de ce dernier test.

### **5.7. Avantages supplémentaires du CVET test**

Tout d'abord, le CVET test permet de différencier avec exactitude les trichromatismes anormaux des dichromatismes. (36) En effet, contrairement au test 15 Hue standard de Farnsworth qui met uniquement en évidence l'axe de la dyschromatopsie congénitale (deutan ou protan), le CVET test, grâce à ses 10 niveaux de saturations par axe, distingue précisément le type de dyschromatopsie (« anopie » ou « anomalie »), et détermine l'intensité du déficit des trichromatismes anormaux (léger, modéré ou sévère).

De plus, la lampe *Dyschroma* incorporée au CVET test garantit une constance des conditions d'éclairage d'une évaluation à l'autre. Ses caractéristiques répondent parfaitement aux critères CIE (31), ce qui assure une bonne perception chromatique des couleurs reproduites dans l'album, et donc une fiabilité dans l'interprétation des résultats. En effet, de nombreuses études ont déjà rapporté l'importance des conditions d'éclairage sur la qualité de l'exploration de la fonction chromatique. (29, 61-64) Dans notre série, les deux tests ont été réalisés avec la lampe *Dyschroma* pour uniformiser les conditions d'éclairage d'un examen à l'autre.

Par ailleurs, un autre avantage propre au CVET test réside dans sa capacité à déterminer une échelle d'acuité chromatique de 0 à 10 à partir du nombre de planches d'étalonnage correctement lues par le patient, et ce pour chaque axe testé. Cette acuité colorée, tout comme l'acuité visuelle, présente un intérêt clinique direct en donnant de manière rapide et simple les capacités chromatiques du sujet. À notre connaissance, le CVET test est le seul test actuel proposant une acuité chromatique.

De surcroît, l'interprétation des résultats est grandement simplifiée par la présence du logiciel intégré *Dyschroma*. Outre le calcul du score de gravité et les images graphiques qu'il fournit (identification des couleurs perçues et non perçues par le patient), ce logiciel simule la vision chromatique pathologique sous la forme d'une image photo permettant de mieux apprécier le handicap du patient.

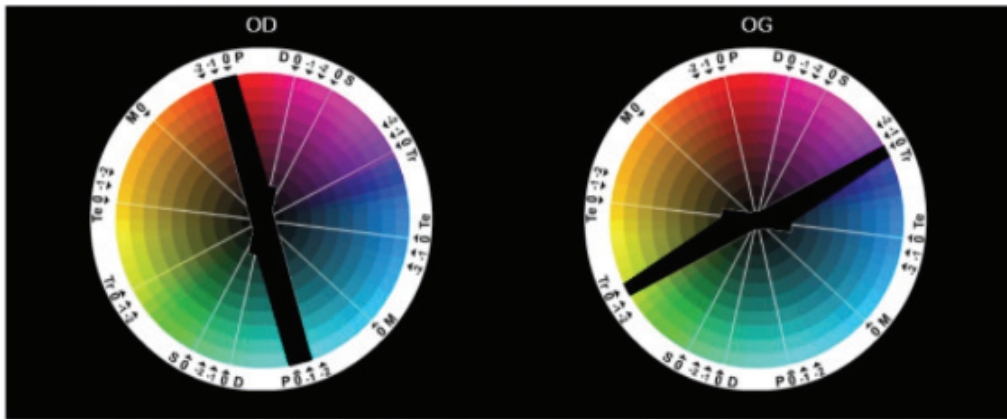


Figure 29 :

Zones neutres pour une protanopie (OD) et une dyschromatopsie acquise d'axe bleu-jaune (OG).

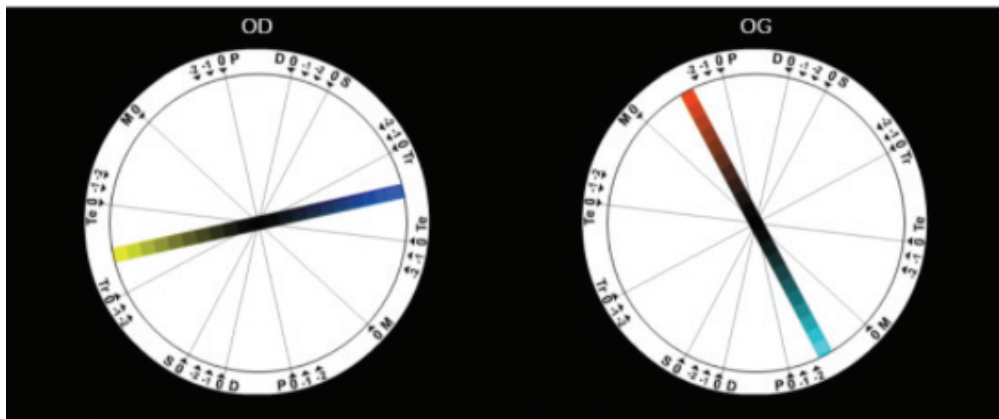


Figure 30 :

Spectres chromatiques pour une protanopie (OD) et une dyschromatopsie acquise d'axe bleu-jaune (OG).

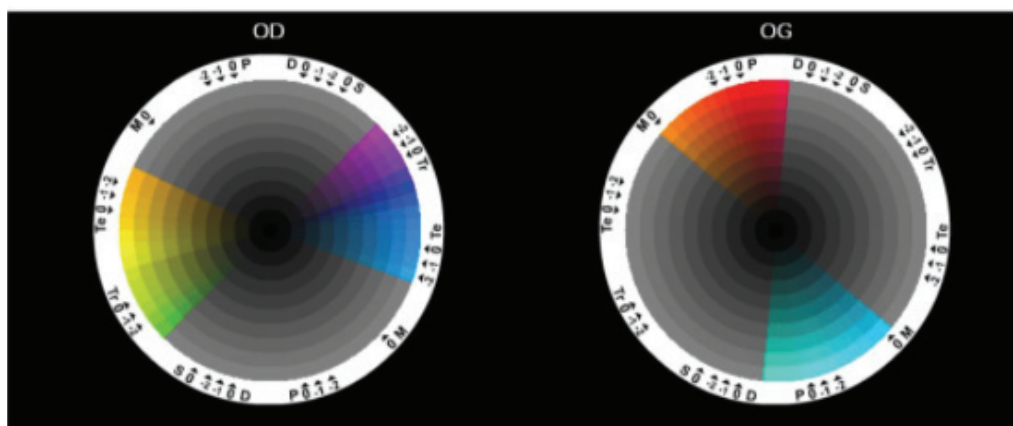


Figure 31 :

Simulation du spectre chromatique perçu par le patient pour une protanopie (OD) et une dyschromatopsie acquise d'axe bleu-jaune (OG).





**Figure 32 :**

**Simulation photo du spectre chromatique perçu par le patient pour une protanopie (OD) et une dyschromatopsie acquise d'axe bleu-jaune (OG).**

Enfin, le CVET test permet de prévenir les simulations et les dissimulations par les exécutants.

En effet, la mémorisation de la position des tabourets est beaucoup plus difficile que celle d'une séquence de chiffre, comme c'est le cas dans les planches pseudo isochromatiques de Ishihara. De plus, l'album peut être orienté dans 4 positions différentes, entraînant une rotation du sens de l'ensemble des tabourets. Les possibilités de réponses deviennent ainsi modulables face aux patients suspects de dissimuler leur dyschromatopsie et qui auraient dans ce but tenté d'assimiler les bonnes réponses du test.

A l'attention des patients que nous pourrions qualifier de « simulateurs », chaque planche de l'album contient une « image de confusion ». Il s'agit d'un tabouret constitué par un niveau de luminosité élevé, facilement perçu par les dyschromates congénitaux. Contrairement à ces derniers qui verront distinctement « l'image de confusion », le simulateur prétendra ne rien voir, ou encore positionnera le tabouret dans une orientation quelconque.

## **5.8. Problématique de l'enfant**

L'évaluation de la vision des couleurs chez le jeune enfant reste un défi constant pour le clinicien.

Comme nous l'avons développé précédemment au paragraphe *1. Protocole de l'étude*, cette difficulté diagnostique s'explique par le niveau de cognition et d'éducation imposé par les différents tests. ([48](#), [65-67](#)) Ainsi, avant l'âge de 6 ans, la grande majorité des examens de la vision des couleurs reste peu adaptée et non contributive dans le diagnostic précis des dyschromatopsies.

De plus, la méconnaissance d'une dyschromatopsie peut, dès les classes primaires, nuire à l'apprentissage scolaire, tant celui-ci s'appuie sur des codes colorés, (68) et plus tard compromettre l'orientation professionnelle de ces enfants.

Et pourtant, seules 10% des dyschromatopsies héréditaires sont actuellement dépistées à l'âge préscolaire, contre 93% de dépistage de l'acuité visuelle (2). La découverte du daltonisme est donc retardée dans le temps, souvent à l'adolescence (69), c'est à dire à un âge où le projet professionnel est le plus souvent déjà élaboré. (70) C'est ainsi que 3% des candidats pilotes militaires de l'air présentent une dyschromatopsie méconnue, cause d'inaptitude ophtalmologique au service. (71)

Dans la pratique clinique, et ce à partir de l'âge de 3 ans, les dyschromatopsies héréditaires peuvent être dépistées grâce aux épreuves psychophysiques comme les tests d'appariement, ou bien les tests de confusion telles que les planches pseudo isochromatiques d'Ishihara. (41) Mais ces examens restent des examens de dépistage qui ne permettent pas de qualifier ni de quantifier la dyschromatopsie.

Après l'âge de 6-8 ans, l'enfant pourra exécuter le test 15 HUE standard de Farnsworth, qui, comme nous l'avons développé précédemment, présente certaines limites.

Puis, selon les capacités individuelles de chaque enfant, d'autres tests diagnostiques pourront être proposés au cas par cas. Mais, ces examens de deuxième ligne restent d'indication retardée en pédiatrie. (2)

Ainsi, pour une exploration fine de la vision des couleurs en ophtalmologie pédiatrique, nous sommes donc confrontés aux limites du test 15 Hue standard de Farnsworth.

Dans notre série, le CVET test s'est révélé être un test adapté aux enfants les plus jeunes de par sa simplicité.

En effet, le plus petit enfant ayant participé à l'étude était âgé de 3 ans et 8 mois. Cet enfant du groupe contrôle a parfaitement réalisé le CVET test aux 2 évaluations avec pour chaque œil un examen normal et un score de gravité nul. En revanche, ce même enfant a réalisé de nombreuses erreurs non significatives au test 15 Hue standard de Farnsworth, et ce aux deux yeux et à chaque évaluation, avec un résultat difficilement interprétable et un score de gravité positif (OD : 14 et OG : 9 à la première évaluation – OD : 0 et OG : 3 à la deuxième évaluation).

Le CVET test présente donc un intérêt pratique direct dans l'évaluation des dyschromatopsies congénitales. Grâce à sa facilité d'exécution, il s'agit, à notre connaissance, du seul test diagnostique fiable réalisable chez des enfants âgés de 3 à 6 ans.

D'un point de vue pratique, un enfant daltonien pourra ainsi être diagnostiqué précocement à un âge préscolaire, ce qui lui permettra d'une part de bénéficier de méthodes d'enseignement alternatives moins axées sur la discrimination chromatique, et d'autre part de bénéficier d'un apprentissage personnalisé car adapté à l'intensité de son déficit.

	Sensibilité (%)	Spécificité (%)	Concordance K*	indications	limites	Patients
<b>Color Vision Evaluation test</b>						
Étude	95,5 à 98	96,5 à 98	-	Test diagnostique - Dyschromatopsie Héréditaire et Acquise	-	Enfants et Adultes
<b>Anomaloscope</b>						
Risse <i>et al</i> (21)	Proche de 100	Proche de 100	-	Test diagnostique - Dyschromatopsie Héréditaire et Acquise	Examineur expérimenté - Coût	Adultes
<b>100 Hue de Farnsworth</b>						
Shoji <i>et al</i> (72)	90,2	90	-	Test diagnostique - Dyschromatopsie Héréditaire et Acquise	Phénomène d'apprentissage (73) - Répétition des examens nécessaire - Variabilité des résultats - Score à calculer - Durée d'examen (15 min / œil) - Pas distinction trichromatisme anormal sévère et dichromatisme	Adultes
Bassi <i>et al</i> (59)	89	100	-			
<b>15 Hue standard de Farnsworth</b>						
Étude	73,5 à 79	57 à 68,5	-	Test diagnostique - Dyschromatopsie Héréditaire	Non sensible pour diagnostiquer trichromatismes anormaux légers à modérés (74) - Pas de distinction entre dichromatismes et trichromatismes anormaux sévères (74)	Enfants et Adultes
Birch <i>et al</i> (55)	72,7	-	-			
Cole <i>et al</i> (56)	74	85	-			
Melamud <i>et al</i> (57)	62,5	-	-			
Bassi <i>et al</i> (59)	64	100	-			
Terry Yates <i>et al</i> (58)	-	-	0,73 à 0,94			
<b>15 Hue désaturé de Lanthony</b>						
Risse <i>et al</i> (32)	95	100	-	Test diagnostique - Dyschromatopsie acquise et héréditaire (trichromatisme anormal léger à modéré)	Importance des conditions d'éclairage 6500°K et 400 lux - Faux positifs et cataracte	Adultes
Bassi <i>et al</i> (59)	84	89	-			
Terry Yates <i>et al</i> (58)	-	-	0,7 à 0,98			

**Tableau 35 :**

**Séries rapportant les critères de validité intrinsèque des tests les plus utilisés dans le diagnostic des dyschromatopsies congénitales.**

\* Indice de concordance Kappa de Cohen (75) du dit-test avec l'anomaloscope Nagel de type I.

	Sensibilité %	Spécificité %	Concordance $\kappa^*$	Indications	Limites	Patients
Planches pseudo-isochromatiques de Ishihara						
Cole <i>et al</i> (76)	98,5	98	-	Test de dépistage - Dyschromatopsies héréditaires	Ne dépiste pas dyschromatopsies d'axe Tritan - Ne dépiste pas dyschromatopsies acquises - Ne différencie pas dichromatismes des trichromatismes anormaux	Enfants et Adultes
Pokorny <i>et al</i> (34)	95	-	-			
William <i>et al</i> (48)	95	-	-			
Swanson <i>et al</i> (20)	90 à 95	-	-			
Seshadri <i>et al</i> (77)	96	100	0,96			
Terry Yates <i>et al</i> (58)	-	-	0,95 à 1,00			

**Tableau 36 :**

**Séries rapportant les critères de validité intrinsèque des planches pseudo isochromatiques de Ishihara dans le dépistage des dyschromatopsies congénitales.**

\* Indice de concordance Kappa de Cohen (75) du dit-test avec l'anomaloscope Nagel de type I.

Au vue des données de la littérature, et ce conjointement à celles de notre étude, le CVET test représente donc un test performant dans le diagnostic des dyschromatopsies congénitales, et ce quel que soit leur axe (protan, deutan ou tritan), leur type (dichromatisme ou trichromatisme anormal), ou leur intensité (faible, modéré ou sévère).

De plus, le CVET test se révèle être un test plus discriminant que le test 15 Hue standard de Farnsworth, dont la principale limite est l'absence de diagnostic des trichromatismes anormaux légers à modérés.

Par ailleurs, le calcul informatisé d'un score de gravité permet au CVET test de quantifier l'intensité du déficit et de suivre son évolution dans le temps.

En définitive, le CVET test apparaît être un test diagnostique simple, fiable, reproductible et accessible aux jeunes enfants dans le diagnostic des dyschromatopsies congénitales.

Par extrapolation, nous pourrions donc admettre que le CVET test puisse être utilisé à des fins cliniques comme test diagnostique précoce dans cette indication.

## **5.9. Limites de l'étude**

La principale limite de cette étude est l'absence de comparaison du CVET test au test gold standard dans le diagnostic des dyschromatopsies. En effet, le test de référence choisi était le test 15 Hue standard de Farnsworth et non l'anomaloscope de Nagel.

Par ailleurs, le CVET test n'a été comparé qu'au test 15 Hue standard de Farnsworth. Il aurait été préférable de réaliser une double comparaison associant le test 15 Hue standard de Farnsworth au test 15 Hue désaturé de Lanthony afin de limiter le taux de faux négatifs lié à la faible sensibilité du test 15 Hue standard de Farnsworth dans le diagnostic des trichromatismes anormaux légers à modérés.

La seconde limite de cette étude est le nombre modéré de patients inclus, et également le nombre relativement élevé de patients perdus de vue (25,8%).

Pour la plupart des cas, il s'agissait d'un manque de motivation de la part des parents qui, ne trouvait pas d'intérêt à réévaluer la dyschromatopsie de leurs enfants. En effet, la pathologie étant congénitale, donc stable et non évolutive, et de surcroît, non curable, la motivation des parents était parfois difficile à retenir.

Une autre limite de cette étude réside dans le biais de réalisation lié à la nature même de la population étudiée. En effet, le taux de non significativité par erreurs de contiguïtés pour le test 15 Hue standard de Farnsworth est ici élevé chez nos jeunes patients, expliquant une certaine incertitude quant à la normalité des résultats. Pour une population adulte, ce même taux serait attendu moins important. Il nous est donc possible de supposer que les valeurs de sensibilités et spécificités rapportées dans notre série concernant le test 15 Hue standard de Farnsworth soient sensiblement sous-évaluées.

### **5.10. Perspectives**

Notre étude préliminaire s'est exclusivement portée sur le diagnostic des dyschromatopsies congénitales.

Pourtant, leur fréquence dans la population générale est significativement inférieure à celle des dyschromatopsies acquises. Ces dernières faisant suite à une multitude de pathologies oculaires entraînant une altération précoce et évolutive de la fonction visuelle chromatique.

Toute la difficulté des tests d'exploration de la vision des couleurs repose sur leur aptitude à diagnostiquer conjointement ces deux catégories de dyschromatopsies.

Cette difficulté est d'autant plus exacerbée qu'un sujet daltonien peut potentiellement présenter une dyschromatopsie acquise dans les suites d'une pathologie oculaire, et donc présenter simultanément les deux types d'altérations de la vision colorée. (78)

Le CVET test, contrairement à la majorité des tests d'assortiment, permet d'évaluer de manière équivalente la totalité des déficits chromatiques grâce à ses 6 séries de planches d'étalonnage explorant les 6 différents axes chromatiques (protan, deutan, tritan,



tetartan, scotopique et monochromatique). Ainsi, le CVET test est capable d'individualiser chaque type de dyschromatopsie, qu'elle soit congénitale, acquise ou mixte.

Parmi les tests d'assortiment, seul le *New Color Test* de Lanthony (40) permet lui aussi, grâce à ses 4 séries de pions étalonnées sur 4 niveaux de saturation différents, d'étudier les caractéristiques des zones neutres, et donc de définir l'axe et l'intensité de la dyschromatopsie, qu'elle soit acquise ou congénitale.

D'autres études ultérieures seront donc indispensables afin d'évaluer la validité diagnostique du CVET test dans l'exploration des dyschromatopsies acquises, pour à terme, étendre ses indications dans la pratique clinique quotidienne.

## **6. CONCLUSION**

Les dyschromatopsies congénitales sont un des troubles visuels héréditaires les plus fréquents dont le diagnostic souvent tardif peut nuire à l'apprentissage scolaire des jeunes enfants.

De nombreux tests diagnostiques sont actuellement à la disposition du clinicien, mais peu d'entre eux sont discriminants pour diagnostiquer simultanément le type de dyschromatopsie, l'intensité du déficit, et l'évolution de ce dernier. Seul l'anomaloscope de Nagel, gold standard, réunit toutes ces compétences. Cependant, son coût et son manque de disponibilité limitent son utilisation dans la pratique clinique quotidienne.

L'objectif de ce travail était d'évaluer la validité d'un nouveau test diagnostique dans les dyschromatopsies congénitales, le *COLOR VISION EVALUATION TEST*, et de le comparer au test de référence chez les enfants, le test 15 Hue standard de Farnsworth.

Les résultats de cette étude préliminaire montrent que le *COLOR VISION EVALUATION TEST* est un test diagnostique rapide, simple, fiable, reproductible et accessible aux jeunes enfants dans le diagnostic des dyschromatopsies congénitales. Par ailleurs, le *COLOR VISION EVALUATION TEST* permet une évaluation qualitative et quantitative de toutes les catégories de dyschromatopsies congénitales. Enfin, le *COLOR VISION EVALUATION TEST* apparaît être un test diagnostique plus discriminant que le test 15 Hue standard de Farnsworth.

Toutefois, des études ultérieures seront indispensables afin de comparer les résultats du nouveau test à l'anomaloscope de Nagel, et ainsi confirmer sa validité diagnostique dans les dyschromatopsies congénitales.

## 7. RÉSUMÉ

**Introduction :** Les dyschromatopsies congénitales sont un des troubles visuels héréditaires les plus fréquents. De nombreux tests d'exploration de la vision des couleurs sont disponibles, mais seul l'anomaloscope de Nagel présente les capacités intrinsèques indispensables à l'évaluation qualitative et quantitative de ces dyschromatopsies. L'objectif de cette étude est d'évaluer la validité d'un nouveau test diagnostique dans les dyschromatopsies congénitales, le *COLOR VISION EVALUATION TEST* (CVET), et de le comparer au test de référence chez les enfants, le test 15 Hue standard de Farnsworth.

**Matériel et Méthode :** Dans cette étude prospective ont été inclus 155 enfants de janvier 2012 à février 2014. Chaque enfant a bénéficié dans un premier temps d'un dépistage à partir des planches pseudo isochromatiques de Ishihara ce qui a permis de répartir les enfants en deux groupes ; un groupe dyschromate et un groupe contrôle. Tous les enfants ont ensuite réalisé à deux reprises le test 15 Hue standard de Farnsworth et le CVET test avec un délai minimum de 7 jours entre les deux évaluations. Les critères de faisabilité, de fiabilité, la concordance et la reproductibilité des tests ont été étudiés.

**Résultats :** L'âge moyen était de  $8 \pm 3,1$  ans dans le groupe dyschromate, et de  $9 \pm 2,9$  ans dans le groupe contrôle. Les temps d'explications étaient en moyenne de 18,8 secondes pour le CVET test et de 17,7 secondes pour le 15 Hue standard de Farnsworth ( $p=0,3$ ). Les temps de réalisation pour les yeux droits des enfants dyschromates étaient de 245,5 secondes pour le CVET test contre 125,7 secondes pour le test 15 Hue standard de Farnsworth ( $p<0,001$ ). La sensibilité était de 95,7% pour le CVET test contre 75% pour le test 15 Hue standard, et les spécificités de 96,4% pour le CVET test contre 58,9% pour le test 15 Hue standard lors de la 1<sup>e</sup> évaluation ( $p<0,001$ ). Le CVET test était reproductible dans 100% des cas contre en moyenne 88,4% des cas pour le test 15 Hue standard de Farnsworth ( $p=0,01$ ). Le CVET test était l'examen préféré chez 84,6% des enfants en moyenne ( $p<0,001$ ).

**Conclusion :** Les résultats de cette étude préliminaire montrent que le CVET test est un test diagnostique simple, fiable, reproductible et accessible aux jeunes enfants dans le diagnostic des dyschromatopsies congénitales. Par ailleurs, le CVET test apparaît être un test diagnostique plus discriminant que le test 15 Hue standard de Farnsworth dans les dyschromatopsies congénitales. Des études ultérieures sont cependant indispensables afin de comparer les résultats du CVET test à l'anomaloscope de Nagel, et ainsi confirmer sa validité diagnostique dans les dyschromatopsies congénitales.

## 8. Bibliographie

1. Curcio CA, Sloan KR, Kalina RE, Hendrickson AE. Human photoreceptor topography. *The Journal of comparative neurology*. 1990;292(4):497-523.
2. Froussart F. Physiologie, examen clinique et pathologie de la vision des couleurs. EMC (Elsevier SAS, Paris), Ophtalmologie. 2012;9(3):1-25.
3. Svaetichin G. Spectral response curves from single cones. *Acta physiologica Scandinavica Supplementum*. 1956;39(134):17-46.
4. Young T. On the theory of light and colors. *Philos Trans R Soc (Lond)*. 1802;92:12-48.
5. Dartnall HJ, Bowmaker JK, Mollon JD. Human visual pigments: microspectrophotometric results from the eyes of seven persons. *Proceedings of the Royal Society of London Series B, Containing papers of a Biological character Royal Society*. 1983;220(1218):115-30.
6. Risse JF. Neurophysiologie sensorielle de l'appareil visuel. In: Masson, editor. *Exploration de la fonction visuelle*. Société Française d'Ophtalmologie. 1999. p. 765.
7. Curcio CA, Allen KA, Sloan KR, Lerea CL, Hurley JB, Klock IB, et al. Distribution and morphology of human cone photoreceptors stained with anti-blue opsin. *The Journal of comparative neurology*. 1991;312(4):610-24.
8. Greenstein VC, Hood DC, Ritch R, Steinberger D, Carr RE. S (blue) cone pathway vulnerability in retinitis pigmentosa, diabetes and glaucoma. *Investigative ophthalmology & visual science*. 1989;30(8):1732-7.
9. Kremers J, Scholl HP, Knau H, Berendschot TT, Usui T, Sharpe LT. L/M cone ratios in human trichromats assessed by psychophysics, electroretinography, and retinal densitometry. *Journal of the Optical Society of America A, Optics, image science, and vision*. 2000;17(3):517-26.
10. Bowmaker J. *The arrangement of L and M cones in human and primate retina*: Oxford University Press; 2003.
11. Manning JR, Brainard DH. Optimal design of photoreceptor mosaics: why we do not see color at night. *Visual neuroscience*. 2009;26(1):5-19.
12. Hubel D. *L'oeil, le cerveau et la vision*. Pour la science Paris. 1994.
13. Livingstone MS, Hubel DH. Anatomy and physiology of a color system in the primate visual cortex. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*. 1984;4(1):309-56.
14. Taylor D. *Pediatric Ophtalmology*. 2nd Ed by David Taylor 1997:1138p.
15. Zlatkova MB, Coulter E, Anderson RS. Short-wavelength acuity: blue-yellow and achromatic resolution loss with age. *Vision research*. 2003;43(1):109-15.
16. Nathans J, Thomas D, Hogness DS. Molecular genetics of human color vision: the genes encoding blue, green, and red pigments. *Science*. 1986;232(4747):193-202.
17. Baraas RC, Hagen LA, Dees EW, Neitz M. Substitution of isoleucine for threonine at position 190 of S-opsin causes S-cone-function abnormalities. *Vision research*. 2012;73:1-9.
18. Leid J. Les dyschromatopsies. *Bulletin des sociétés d'ophtalmologie de France*. 2001; rapport annuel.
19. Kohl S, Baumann B, Broghammer M, Jagle H, Sieving P, Kellner U, et al. Mutations in the CNGB3 gene encoding the beta-subunit of the cone photoreceptor cGMP-gated channel are responsible for achromatopsia (ACHM3) linked to chromosome 8q21. *Human molecular genetics*. 2000;9(14):2107-16.

20. Swanson WH, Cohen JM. Color vision. *Ophthalmology clinics of North America*. 2003;16(2):179-203.
21. Risse JF. La vision des couleurs. In: Masson, editor. *Exploration de la fonction visuelle*. Société Française d'Ophtalmologie 1999. p. 367-94.
22. Gegenfurtner KR, Sharpe LT. *Color Vision. From genes to perception*. Cambridge University Press. 1999;1:3-88.
23. Sharpe LT, Stockman A, Jagle H, Nathans J. *Color Vision. From gene to reception?* 1987;3-50.
24. Rigaudière F. Electrophysiologie et vision des couleurs : les dyschromatopsies. *Bulletin des sociétés d'ophtalmologie de France*. p. IV-6-5: 155 - 6.
25. Verriest G. On acquired deficiency of color vision with special reference to its detection and classification by means of the tests of Farnsworth. *Vision research*. 1961;1:201-19.
26. Verriest G. Further studies on acquired deficiency of color discrimination. *Journal of the Optical Society of America*. 1963;53:185-95.
27. Verriest G. À propos de la classification des dyschromatopsies acquises. *Journal français d'ophtalmologie*. 1978;1:551-8.
28. Birch J. A practical guide for colour-vision examination: report of the Standardization Committee of the International Research Group on Colour-Vision Deficiencies. *Ophthalmic & physiological optics : the journal of the British College of Ophthalmic Opticians*. 1985;5(3):265-85.
29. Stager DR, Everett M, Swanson WH. The importance of controlled illumination in color vision testing in a pediatric ophthalmology clinical practice. *Journal of pediatric ophthalmology and strabismus*. 1993;30(1):39-42.
30. Wyszecki G. *Color science : concepts and methods, quantitative data and formulae*. New York : John Wiley & Sons. 1982.
31. Committee on Vision, Assembly of Behavioral and Social Sciences, Council NR. *Procedure for testing color vision*. Washington, DC : National Academy Press. 1981.
32. Risse J. Vision des couleurs - Principe des tests. In: Masson, editor. *Exploration de la fonction visuelle* Société Française d'Ophtalmologie 1999. p. 129-51.
33. Leid J. Spécial vision des couleurs. *Propos Biopharma*. 2008.
34. Pokorny J, Smith V.C, Verriest G, Pinckers A. *A congenital and acquired color vision defects*. Grune & Stratton, New York. 1979.
35. Leid J. La vision des couleurs en pratique. *Journal français d'ophtalmologie*. 2002;25:867-9.
36. Ionica V, Gastaud P. Test chromatique pour dépistage et étalonnage des dyschromatopsies. *Journal français d'ophtalmologie*. 1996;19,11:679-88.
37. Ionica V, Gastaud P. Color Vision Evaluation Test. *Journal Français d'Ophtalmologie*. 2009;32(1):145.
38. Ionica V, Gastaud P. Représentation de l'acuité chromatique maculaire normale et pathologique. *Journal français d'ophtalmologie*. 1999;22,1:53-6.
39. Squire TJ, Rodriguez-Carmona M, Evans AD, Barbur JL. Color vision tests for aviation: comparison of the anomaloscope and three lantern types. *Aviation, space, and environmental medicine*. 2005;76(5):421-9.
40. Lanthony MP. [The new color test]. *Bulletin des sociétés d'ophtalmologie de France*. 1975;75(2):217-22.
41. Choi SY, Hwang JM. Ishihara test in 3- to 6-year-old children. *Japanese journal of ophthalmology*. 2009;53(5):455-7.

42. Birch J, Platts CE. Colour vision screening in children: an evaluation of three pseudoisochromatic tests. *Ophthalmic & physiological optics : the journal of the British College of Ophthalmic Opticians*. 1993;13(4):344-9.
43. Birch J. Identification of red-green colour deficiency: sensitivity of the Ishihara and American Optical Company (Hard, Rand and Rittler) pseudo-isochromatic plates to identify slight anomalous trichromatism. *Ophthalmic & physiological optics : the journal of the British College of Ophthalmic Opticians*. 2010;30(5):667-71.
44. Cotter SA, Lee DY, French AL. Evaluation of a new color vision test: "color vision testing made easy". *Optometry and vision science : official publication of the American Academy of Optometry*. 1999;76(9):631-6.
45. Birch J. Use of the Farnsworth-Munsell 100-Hue test in the examination of congenital colour vision defects. *Ophthalmic & physiological optics : the journal of the British College of Ophthalmic Opticians*. 1989;9(2):156-62.
46. Baron J, Cabau A, Parmentier-Beloux M. [Use of Farnsworth's 100 hue test in examination of color vision]. *La Presse medicale*. 1956;64(24):561-2.
47. Lanthony P. [Evaluation of desaturated Panel D-15. III. Evaluation of the validity of the desaturated Panel D-15]. *Journal francais d'ophtalmologie*. 1994;17(1):15-21.
48. Swanson WH, Everett M. Color vision screening of young children. *Journal of pediatric ophthalmology and strabismus*. 1992;29(1):49-54.
49. Xie JZ, Tarczy-Hornoch K, Lin J, Cotter SA, Torres M, Varma R, et al. Color vision deficiency in preschool children: the multi-ethnic pediatric eye disease study. *Ophthalmology*. 2014;121(7):1469-74.
50. Simunovic MP. Colour vision deficiency. *Eye*. 2010;24(5):747-55.
51. Hahn CS. Evaluation of congenital colour vision deficiencies. *Korean journal of ophthalmology : KJO*. 1991;5(1):26-9.
52. Koliopoulos J, Iordanides P, Palmeris G, Chimonidou E. Data concerning colour vision deficiencies amongst 29,985 young Greeks. *Modern problems in ophthalmology*. 1976;17:161-4.
53. Birch J. Worldwide prevalence of red-green color deficiency. *Journal of the Optical Society of America A, Optics, image science, and vision*. 2012;29(3):313-20.
54. Melamud A, Simpson E, Traboulsi EI. Introducing a new computer-based test for the clinical evaluation of color discrimination. *American journal of ophthalmology*. 2006;142(6):953-60.
55. Birch J. Colour vision tests : general classification. In: Foster DH, editor. *Inherited and acquired colour vision deficiencies*: Boca Raton: CRC Press; 1991. p. 215-33.
56. Cole BL, Maddocks JD. Can clinical colour vision tests be used to predict the results of the Farnsworth lantern test? *Vision research*. 1998;38(21):3483-5.
57. Melamud A, Hagstrom S, Traboulsi E. Color vision testing. *Ophthalmic genetics*. 2004;25(3):159-87.
58. Yates JT, Heikens MF. *Colour Vision Testing – Methodologies : Update and Review*. Research and Technology Organization. 2001; technical report 16:21-2.
59. Bassi CJ, Galanis JC, Hoffman J. Comparison of the Farnsworth-Munsell 100-Hue, the Farnsworth D-15, and the L'Anthony D-15 desaturated color tests. *Archives of ophthalmology*. 1993;111(5):639-41.
60. Perdriel G. [The Farnsworth 100 Hue test]. *Annales d'oculistique*. 1962;195:120-30.
61. Hovis JK, Neumann P. Colorimetric analyses of various light sources for the D-15 color vision test. *Optometry and vision science : official publication of the American Academy of Optometry*. 1995;72(9):667-78.

62. Lange JE, Morey JA, Richards OW. Cool white, Ultralume, and Vita-Lite fluorescent lamps for use in color vision testing. *American journal of optometry and physiological optics*. 1980;57(6):400-3.
63. Leid J, Leid V. [Value of very low voltage halogen lighting of desaturated panel D 15 test in established glaucoma]. *Journal francais d'ophtalmologie*. 1991;14(2):96-102.
64. Zahiruddin K, Banu S, Dharmarajan R, Kulothungan V, Vijayan D, Raman R, et al. Effect of illumination on colour vision testing with Farnsworth-Munsell 100 hue test: customized colour vision booth versus room illumination. *Korean journal of ophthalmology : KJO*. 2010;24(3):159-62.
65. Mantyjarvi M. Colour vision testing in pre-school-aged children. *Ophthalmologica Journal international d'ophtalmologie International journal of ophthalmology Zeitschrift fur Augenheilkunde*. 1991;202(3):147-51.
66. Logan NS, Gilmartin B. School vision screening, ages 5-16 years: the evidence-base for content, provision and efficacy. *Ophthalmic & physiological optics : the journal of the British College of Ophthalmic Opticians*. 2004;24(6):481-92.
67. Gallagher JR, Gallagher CD. Color Vision Screening of Preschool and First Grade Children. *Archives of ophthalmology*. 1964;72:200-11.
68. Bacon L. Color Vision defect - an educational handicap. *Med Officer*. 1971;125 : 99-209.
69. Lanthony P. Ergonomie et vision des couleurs. Les dychromatopsies. *Bulletin des sociétés d'ophtalmologie de France, rapport annuel*. 2001:271-80.
70. Taylor WO. Effects on employment of defects in colour vision. *The British journal of ophthalmology*. 1971;55(11):753-60.
71. Maille M. Les nouvelles normes visuelles en aéronautique militaire. *Med Aeronaut Spat*. 1990;XXIX:261-2.
72. Shoji T, Sakurai Y, Chihara E, Nishikawa S, Omae K. Reference intervals and discrimination values of the Lanthony desaturated D-15 panel test in young to middle-aged Japanese army officials: the Okubo Color Study Report 1. *Eye*. 2009;23(6):1329-35.
73. Breton ME, Fletcher DE, Krupin T. Influence of serial practice on Farnsworth-Munsell 100-hue scores: the learning effect. *Applied optics*. 1988;27(6):1038-44.
74. Linksz A. The Farnsworth panel D-15 test. *American journal of ophthalmology*. 1966;62(1):27-37.
75. Bishop YMM, Fienberg SE, Holland PW. *Discrete multivariate analysis : theory and practice*. Cambridge, Mass.,: MIT Press; 1975. x, 557 p. p.
76. Cole BL, Lian KY, Lakkis C. The new Richmond HRR pseudoisochromatic test for colour vision is better than the Ishihara test. *Clinical & experimental optometry : journal of the Australian Optometrical Association*. 2006;89(2):73-80.
77. Seshadri J, Christensen J, Lakshminarayanan V, Bassi CJ. Evaluation of the new web-based "Colour Assessment and Diagnosis" test. *Optometry and vision science : official publication of the American Academy of Optometry*. 2005;82(10):882-5.
78. Roth A, Repiquet C. L'intérêt clinique du diagnostic différentiel entre dyschromatopsie congénitale et dyschromatopsie acquise. *Bulletin des sociétés d'ophtalmologie de France*. 1980;8-9.



## **Serment D'Hippocrate**

*En présence des Maîtres de cette faculté,  
de mes chers condisciples et devant l'effigie d'Hippocrate,*

*je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité  
dans l'exercice de la médecine.*

*Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent,  
et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail.*

*Admise à l'intérieur des maisons,  
mes yeux ne verront pas ce qu'il s'y passe.  
Ma langue taira les secrets qui me seront confiés,  
et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs,  
ni à favoriser le crime.*

*Je ne permettrai pas que des considérations  
de religion, de nation, de race, de parti ou de classe sociale  
viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient.*

*Je garderai le respect absolu de la vie humaine.*

*Même sous la menace, je n'admettrai pas de faire usage de mes connaissances médicales  
contre les lois de l'humanité.*

*Respectueuse et reconnaissante envers mes Maîtres,  
je rendrai à leurs enfants l'instruction qui j'ai reçu de leurs pères.*

*Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses,  
que je sois couverte d'opprobre et méprisée de mes confrères  
si j'y manque.*

## **RÉSUMÉ**

**Introduction :** Les dyschromatopsies congénitales sont un des troubles visuels héréditaires les plus fréquents. De nombreux tests d'exploration de la vision des couleurs sont disponibles, mais seul l'anomaloscope de Nagel présente les capacités intrinsèques indispensables à l'évaluation qualitative et quantitative de ces dyschromatopsies. L'objectif de cette étude est d'évaluer la validité d'un nouveau test diagnostique dans les dyschromatopsies congénitales, le *COLOR VISION EVALUATION TEST* (CVET), et de le comparer au test de référence chez les enfants, le test 15 Hue standard de Farnsworth.

**Matériel et Méthode :** Dans cette étude prospective ont été inclus 155 enfants de janvier 2012 à février 2014. Chaque enfant a bénéficié dans un premier temps d'un dépistage à partir des planches pseudo isochromatiques de Ishihara ce qui a permis de répartir les enfants en deux groupes ; un groupe dyschromate et un groupe contrôle. Tous les enfants ont ensuite réalisé à deux reprises le test 15 Hue standard de Farnsworth et le CVET test avec un délai minimum de 7 jours entre les deux évaluations. Les critères de faisabilité, de fiabilité, la concordance et la reproductibilité des tests ont été étudiés.

**Résultats :** L'âge moyen était de  $8 \pm 3,1$  ans dans le groupe dyschromate, et de  $9 \pm 2,9$  ans dans le groupe contrôle. Les temps d'explications étaient en moyenne de 18,8 secondes pour le CVET test et de 17,7 secondes pour le 15 Hue standard de Farnsworth ( $p=0,3$ ). Les temps de réalisation pour les yeux droits des enfants dyschromates étaient de 245,5 secondes pour le CVET test contre 125,7 secondes pour le test 15 Hue standard de Farnsworth ( $p<0,001$ ). La sensibilité était de 95,7% pour le CVET test contre 75% pour le test 15 Hue standard, et les spécificités de 96,4% pour le CVET test contre 58,9% pour le test 15 Hue standard lors de la 1<sup>e</sup> évaluation ( $p<0,001$ ). Le CVET test était reproductible dans 100% des cas contre en moyenne 88,4% des cas pour le test 15 Hue standard de Farnsworth ( $p=0,01$ ). Le CVET test était l'examen préféré chez 84,6% des enfants en moyenne ( $p<0,001$ ).

**Conclusion :** Les résultats de cette étude préliminaire montrent que le CVET test est un test diagnostique simple, fiable, reproductible et accessible aux jeunes enfants dans le diagnostic des dyschromatopsies congénitales. Par ailleurs, le CVET test apparaît être un test diagnostique plus discriminant que le test 15 Hue standard de Farnsworth dans les dyschromatopsies congénitales. Des études ultérieures sont cependant indispensables afin de comparer les résultats du CVET test à l'anomaloscope de Nagel, et ainsi confirmer sa validité diagnostique dans les dyschromatopsies congénitales.