



Propos

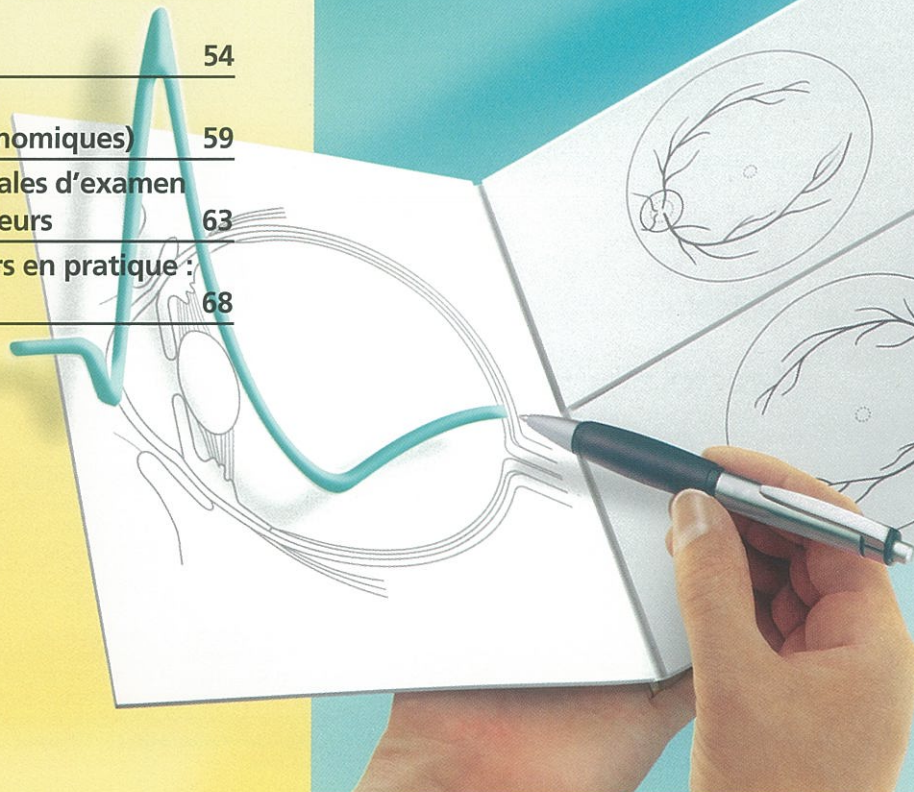
BIOPHARMA

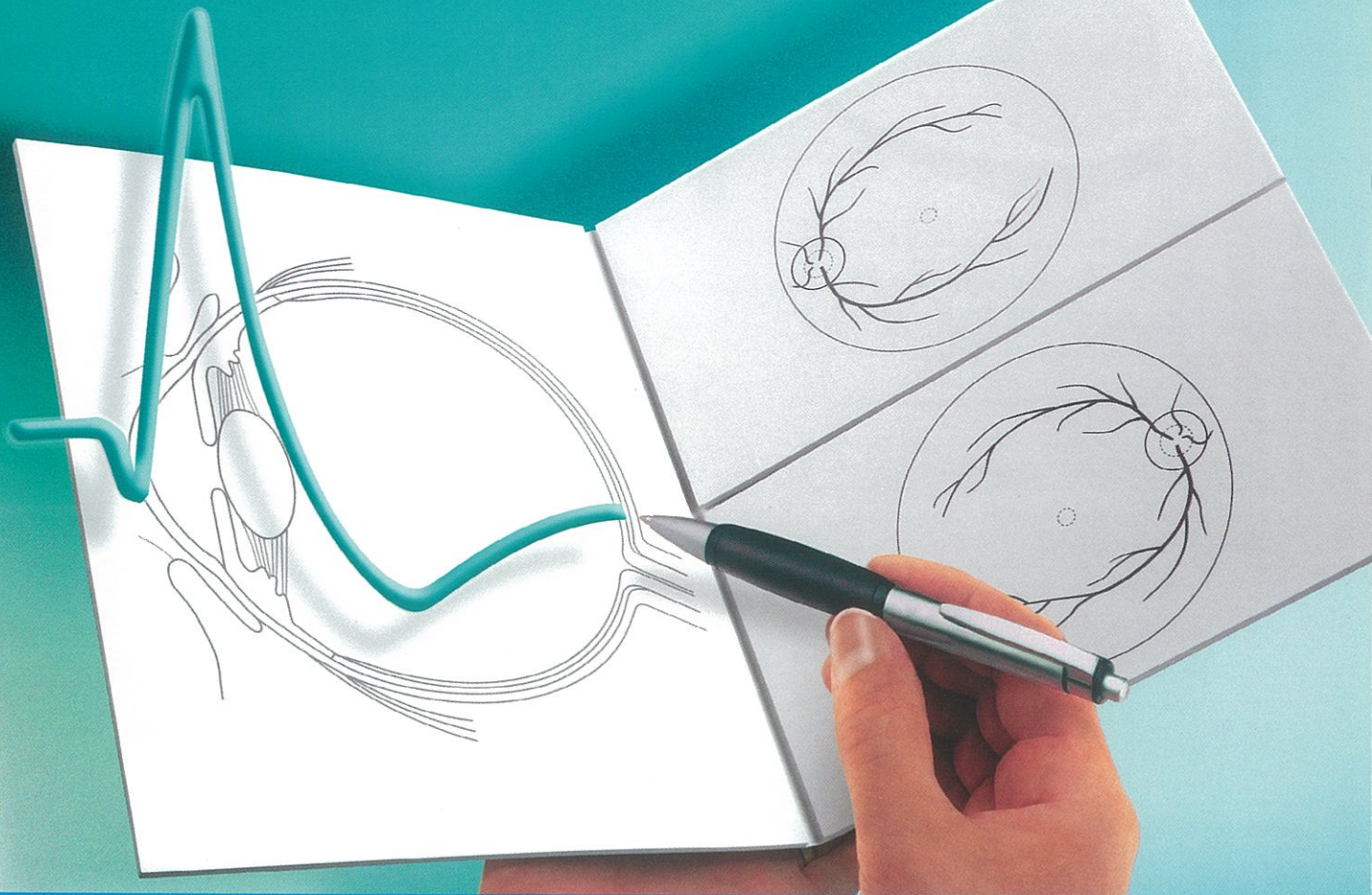
Spécial vision des couleurs

Coordination
J. Leid

S U P P L É M E N T OPHTALMOLOGIE N° 32

Éditorial	1
Sommaire	2
• Comment voit-on en couleur ?	3
• Les aspects génétiques des dyschromatopsies	8
• Classification des dyschromatopsies héréditaires et acquises	12
• Les tests diagnostiques des dyschromatopsies	25
• Les planches pseudo-isochromatiques	26
• Les tests de classement : principes. Le Panel D15	33
• Les tests de classement désaturés	42
• Les autres tests de classement	49
• Les tests de seuils. Les anomaloscopes	54
• Les tests particuliers (enfants - tests ergonomiques)	59
• Les conditions générales d'examen de la vision des couleurs	63
• La vision des couleurs en pratique : stratégies	68





Traitement d'appoint des baisses d'acuité et des troubles du champ visuel présumés d'origine vasculaire

VASTAREL 35mg

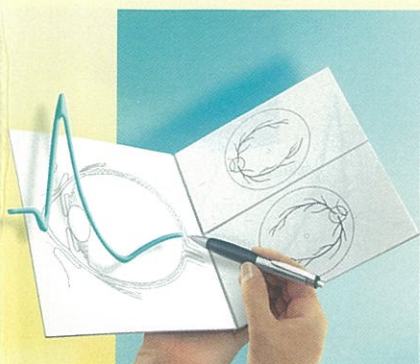
Trimétazidine

Comprimé pelliculé à libération modifiée

VASTAREL 35 mg, comprimé pelliculé à libération modifiée. **Composition et forme** : Boîte de 60 cp pelliculés à libération modifiée de dichlorhydrate de trimétazidine dosés à 35 mg. **Indications thérapeutiques** : • En cardiologie : traitement prophylactique de la crise d'angine de poitrine, • En ORL : traitement symptomatique d'appoint des vertiges et des acouphènes, • En ophtalmologie : traitement d'appoint des baisses d'acuité et des troubles du champ visuel présumés d'origine vasculaire. **Propriétés** : **Propriétés pharmacodynamiques** : AUTRE MÉDICAMENT EN CARDIOLOGIE À VISÉE ANTIANGINEUSE. La trimétazidine, en préservant le métabolisme énergétique de la cellule exposée à l'hypoxie ou à l'ischémie, empêche l'abaissement du taux intracellulaire de l'ATP. Elle assure ainsi le fonctionnement des pompes ioniques et des flux transmembranaires $\text{Na}^+\text{-K}^+$ et maintient l'homéostasie cellulaire. Les études contrôlées, chez l'angoreux, ont montré que la trimétazidine : • augmente la réserve coronaire (le délai d'apparition des troubles ischémiques liés à l'effort), dès le 15^e j du traitement, • limite les à-coups tensionnels liés à l'effort, sans entraîner de variations significatives de la fréquence cardiaque, • diminue significativement la fréquence des crises angineuses, • entraîne une diminution significative de la consommation de trinitrine. Dans une étude réalisée sur 2 mois, chez des patients recevant 50 mg d'aténolol, l'ajout de 1 cp à libération modifiée de trimétazidine 35 mg entraîne, par rapport au placebo, un allongement significatif du délai d'apparition d'un sous-décalage de 1 mm du segment ST à l'épreuve d'effort 12 h après la prise. **Propriétés pharmacocinétiques** : • Sur 24 h, la concentration plasmatique se maintient à des concentrations $\geq 75\%$ de la C_{max} pendant 11 h. **Contre-indications** : Hypersensibilité à l'un des constituants du produit. **Grossesse et allaitement** : Éviter de prescrire pendant la grossesse – allaitement déconseillé. **Mises en garde et précautions particulières d'emploi** : Généralement déconseillé pendant l'allaitement (cf. Grossesse et allaitement). Ce médicament n'est pas un traitement curatif de la crise d'angor, il n'est pas non plus indiqué comme traitement initial de l'angor instable, ou de l'infarctus du myocarde, ni dans la phase préhospitalière, ni pendant les premiers jours d'hospitalisation. En cas de survenue d'une crise d'angor, une réévaluation de la coronaropathie s'impose, et une adaptation du traitement doit être discutée (traitement médicamenteux et éventuellement revascularisation). **Effets indésirables** : Rares troubles gastro-intestinaux (nausées et vomissements). Très rares symptômes parkinsoniens, réversibles à l'arrêt du traitement. **Posologie et mode d'administration** : 1 cp matin et soir au moment du repas. CTJ : 0,37 €. Arrêt du traitement si absence de réponse à 3 mois. AMM 357 245-8 (60 cp) ; 357 247-0 (100 cp : modèle hospitalier) (août 2001). Coll. **Prix** : 11,07 €. Remb. Séc. soc. : 35 % dans le traitement prophylactique de la crise d'angine de poitrine et dans le traitement symptomatique d'appoint des vertiges et des acouphènes, non remboursé dans le traitement d'appoint des baisses d'acuité et des troubles du champ visuel présumés d'origine vasculaire. **Information médicale** : Biopharma – 29, rue du Pont – 92578 Neuilly sur Seine Cedex – Tél. 01 55 72 60 00 – Les Laboratoires Servier – 22, rue Garnier – 92200 Neuilly-sur-Seine. Information plus complète : cf. Vidal.

1 comprimé matin et soir / 1 boîte par mois de traitement



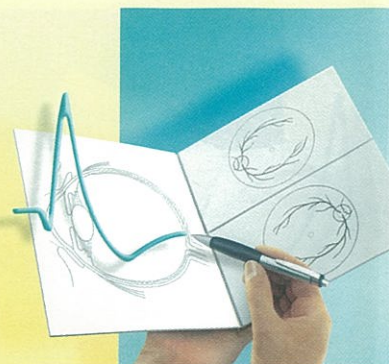


Sommaire

Propos Biopharma
Revue médicale et scientifique éditée
par Biopharma
29, rue du Pont
92200 Neuilly-sur-Seine
Tél : 01 55 72 60 00
Fax : 01 55 72 72 11
Directeur de la publication et
Rédacteur en chef :
Docteur Denys Schutz
Réalisation : Alinéa +
Communications
Imprimerie : KAPP LAHURE JOMBART
Dépôt Légal : 1^{er} trimestre 2008
ISSN 0220-5254
Tous droits de traduction,
d'adaptation et de reproduction par
tous procédés réservés pour tous
pays. Toute reproduction ou
représentation intégrale ou partielle,
par quelque procédé que ce soit, des
pages publiées dans le présent
ouvrage, faite sans l'autorisation de
l'éditeur est illicite et constitue une
contrefaçon. Les opinions exprimées
dans les articles n'engagent que la
responsabilité des auteurs.
Photo couverture : DR

Éditorial	2
J. Leid	
Comment voit-on en couleur ?	3
F. Rigaudière	
Les aspects génétiques des dyschromatopsies	8
J. Leid	
Classification des dyschromatopsies héréditaires et acquises	12
F. Rigaudière, J. Leid	
Les tests diagnostiques des dyschromatopsies	25
J. Leid	
Les planches pseudo-isochromatiques	26
J. Leid	
Les tests de classement : principes. Le Panel D15	33
J. Leid	
Les tests de classement désaturés	42
J. Leid	
Les autres tests de classement	49
J. Leid	
Les tests de seuils. Les anomaloscopes	54
J. Leid	
Les tests particuliers (enfants - tests ergonomiques)	59
J. Leid	
Les conditions générales d'examen de la vision des couleurs	63
J. Leid	
La vision des couleurs en pratique : stratégies	68
J. Leid	

Éditorial



Ce numéro spécial de la revue PROPOS sur les dyschromatopsies que j'ai l'honneur de coordonner ne saurait être un ouvrage exhaustif sur le sujet.

Nous avons accepté de le réaliser dans le seul et unique but de proposer au lecteur un vade-mecum essentiellement pratique et dépouillé de tout ce qui pourrait éventuellement le rebuter. Il faut le considérer pour ce qu'il se veut être : non point une austère et rigoureuse publication mais au contraire un guide pratique et succinct dans lequel l'ophtalmologiste français pourra puiser les éléments dont il peut avoir besoin au quotidien pour assurer son devoir en matière d'exploration de la vision des couleurs : qualifier et quantifier toute dyschromatopsie.

Cette option nous a amenés à volontairement utiliser des termes et des concepts simplifiés mais essentiellement pratiques, au risque, parfaitement assumé, d'être peut-être considérés comme réducteurs afin d'être mieux compris. C'est à ce prix que nous espérons donner un regain d'intérêt pour une exploration fonctionnelle visuelle qui nous semble sous-exploitée et pourtant si facile à mettre en œuvre, rapide et peu coûteuse et dont l'intérêt dans certaines pathologies et en ergonomie est cependant indéniable.

On ne trouvera pas, dans la plupart de ces textes, de bibliographie exhaustive ni d'étude clinique circonstanciée mais seulement le reflet de l'expérience d'une longue pratique quotidienne dans les conditions de travail qui peuvent être celles de chacun des lecteurs.

Enfin, puisqu'il faut parfois accepter de réduire encore l'essentiel du résumé, nous avons tenté le périlleux exercice des points forts en espérant qu'ils sauront inciter le lecteur à poursuivre plus avant dans sa curiosité.

L'exploration fonctionnelle visuelle a connu au cours du temps des hauts et des bas. Elle reprend aujourd'hui une vigueur réconfortante, appuyée notamment par les techniques d'imagerie modernes.

Deux points méritent d'être soulignés. D'une part il faut bien se garder d'"oublier" la clinique et de se retrancher derrière le confort des explorations fonctionnelles, d'autre part il faut éviter de considérer une exploration, quelle qu'en soit la valeur, comme unique critère de diagnostic.

La vision des couleurs est un excellent instrument pour étudier la fonctionnalité des cônes maculaires. N'hésitons pas à l'utiliser largement pour cela. Son exploration n'a de sens pour les dyschromatopsies acquises que dans le cadre du recueil d'un faisceau d'arguments cliniques et paracliniques. Quant aux dyschromatopsies héréditaires, considérons comme un devoir de dépister le maximum de jeunes daltoniens.

Mais tout cela, les ophtalmologistes le savent parfaitement et le pratiquent au quotidien...

Bonne lecture !

*Jean Leid,
Pau*

Comment voit-on en couleur ?

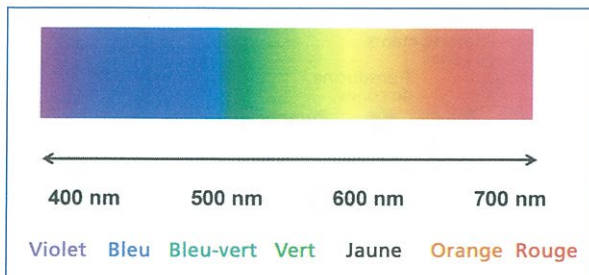
F. Rigaudière

Explorations visuelles, Hôpital Lariboisière, Paris

Vision des couleurs en lumière du jour

La vision des couleurs n'est possible qu'en lumière du jour ou son équivalent lumineux artificiel (Fig. 1) grâce au fonctionnement des cônes. Ces cellules rétinienne, réceptrices de lumière, sont peu nombreuses, environ 4,5 millions¹. Les bâtonnets plus nombreux – environ 100 millions¹ – n'interviennent pas directement dans la vision des couleurs même si leur rôle trophique est important pour le maintien de la survie des cônes, comme au cours de rétinopathies².

Figure 1 - Lumière du jour (ou lumière visible) après sa décomposition par un prisme. Elle se compose d'une infinité de longueurs d'onde, comprises entre 400 et 700 nanomètres (un nm = 10⁻⁹ m) ; après absorption par les cônes, celles correspondant à la gamme 400-500 nm sont dites courtes longueurs d'onde, perçues du violet au bleu-vert ; celles comprises entre 500 et 600 nm dites moyennes longueurs d'onde, perçues comme vert, jaune et orangé ; celles allant de 600 à 700 nm dites grandes longueurs d'onde, perçues comme orange, rouge et rouge soutenu.



Vision des couleurs : "test de santé des cônes"

Les cônes sont disposés sur toute la rétine entre les bâtonnets, sauf au creux de la dépression fovéolaire où ils sont seuls³, peu nombreux en valeur relative et denses⁴. Leur rôle est primordial au centre de la rétine – ou aire maculaire – où ils sont les acteurs d'une "bonne vision". La bonne vision correspond à la perception du champ central de vision avec une bonne "acuité visuelle" qui est la traduction de l'analyse des détails fins grâce à leurs contrastes ; elle comprend aussi une "vision des couleurs normale" qui est le résultat du codage des longueurs d'onde contenues dans la lumière parvenant jusqu'à la rétine.

Les tests de la vision des couleurs apprécient l'état fonctionnel des cônes, essentiellement centraux et de leurs systèmes cellulaires. La variation de leurs résultats par rapport à la normale peut être le témoin de leurs dysfonctionnements liés à une atteinte héréditaire ou, au contraire, un signe de dyschromatopsie acquise. Cette dernière est une alerte précoce de dysfonctionnements débutants ou d'évolution, qui précède souvent une variation sensible de l'acuité visuelle.

Les tests de la vision des couleurs ont donc toute leur place dans le bilan ophtalmologique clinique de routine. Les mettre en œuvre à bon escient et en interpréter les résultats procède d'un court apprentissage qui s'appuie sur la compréhension des processus physiologiques normaux aboutissant à la vision des couleurs puis sur celle des principes des tests utilisés.

Vision des couleurs normale : quelques éléments anatomo-fonctionnels

La circuiterie des cônes et leurs voies à l'origine du trichromatisme rétinien

Tous les cônes se ressemblent d'un point de vue histologique, et pourtant ils diffèrent par la nature du photopigment contenu dans leur article externe et par les circuits cellulaires avec lesquels ils font synapse.

Photopigments de l'article externe des cônes

L'article externe des cônes contient de nombreuses unités d'un même photopigment. Il existe trois photopigments S, M et L dont les compositions diffèrent selon le nombre et l'ordonnement des acides aminés qui les composent. Le photopigment S est codé par le chromosome 7⁵, le M et le L sont codés par des gènes différents situés sur le chromosome X⁶.

Les photopigments confèrent leurs propriétés aux cônes qui sont ainsi séparés en trois catégories : cônes dits S, cônes dits M et cônes dits L. Les cônes S sont les moins nombreux,

ils correspondent à environ 10 % de l'ensemble des cônes et leur majorité (70 % des cônes S) est répartie en zone maculaire, sur les 12 degrés centraux⁷ ; ils sont fragiles et sensibles à toute perturbation rétinienne (toxique, vasculaire, de pression intraoculaire...)^{8,9}. Les 90 % restant sont les cônes L et M avec une proportion relative qui dépend de chaque individu¹⁰.

Probabilités d'absorption des photons par les trois types de cônes : trichromatisme rétinien

Les trois photopigments captent les photons contenus dans la lumière incidente avec une probabilité d'absorption différente selon leurs longueurs d'onde (Fig. 2). Le photopigment S capte essentiellement les photons de courtes longueurs d'onde avec une probabilité d'absorption maximale située vers 420 nm, le photopigment M absorbe les photons de moyennes longueurs d'onde avec une probabilité d'absorption maximale située vers 530 nm et le photopigment L absorbe les photons de plus grandes longueurs d'onde avec une probabilité d'absorption maximale située vers 560 nm.

L'absorption des photons par les photopigments déclenche une cascade d'activations et leurs boucles de régulation, c'est la "transduction" (Fig. 3). Elle aboutit à une modification de

Figure 2 - Probabilités d'absorption des photons par les trois photopigments S, M et L (courbes normalisées, pour un sujet normal) en fonction de leurs longueurs d'onde (abscisse en nm). En deçà de 400 nm et au-delà de 700 nm, il n'y a pas de photopigments pour absorber les photons, donc pas de vision possible. C'est pourquoi la lumière visible est limitée aux longueurs d'onde comprises entre 400 et 700 nm.

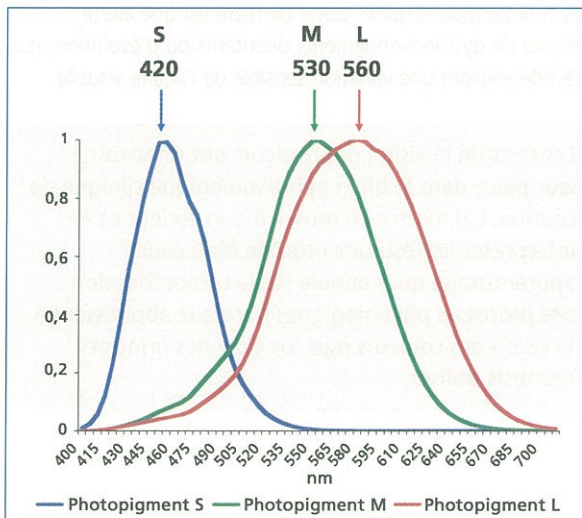
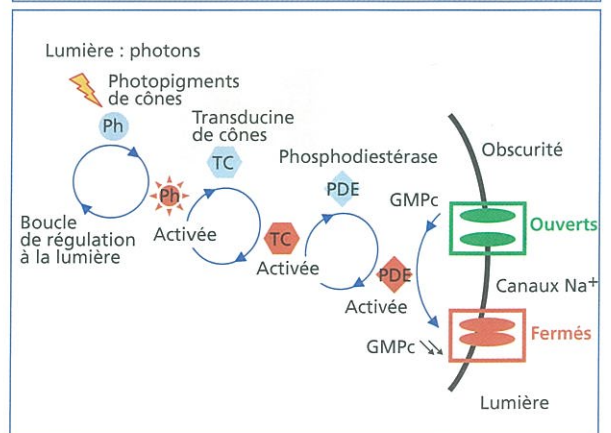


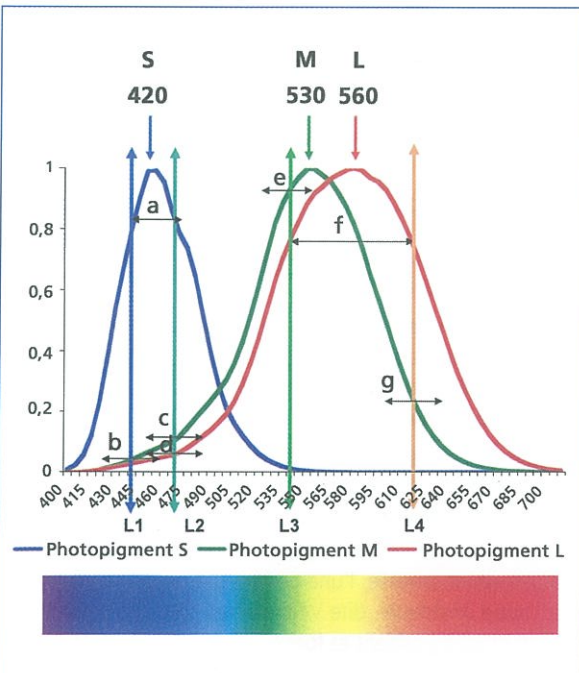
Figure 3 - Schéma simplifié de la transduction des cônes. À l'obscurité, les canaux sodium situés sur la membrane externe des cônes sont statistiquement plus nombreux à être maintenus ouverts que fermés, grâce à des molécules de GMPc (guanosine mono-phosphate cyclique) fixées sur un récepteur spécifique : les cônes sont dépolarisés. À la lumière, les photons sont absorbés par les photopigments des cônes (Ph) avec une probabilité différente, selon leurs longueurs d'onde. Ils sont activés. À leur tour, ils activent la transducine de cônes (TC) qui, ensuite, active la phosphodiésterase (PDE). Cette dernière coupe le cycle du GMPc, entraînant une fermeture transitoire d'un certain nombre de canaux sodium membranaire. Les cônes sont alors hyperpolarisés. Des anomalies dans le déroulement de ce cycle de transduction sont à l'origine de l'achromatopsie (Cf p. 12-24).



la réponse des cônes. Selon la quantité de photons absorbés par tels ou tels photopigments, l'intensité relative des réponses de chacun des trois types de cônes varie entre deux longueurs d'onde différentes (Fig. 4). Après transmission jusqu'aux aires corticales spécialisées, ces différentes réponses initiées par les trois catégories de cônes, créent des sensations de couleur différentes.

Ces codages initiaux des longueurs d'onde, effectués par les trois catégories de photopigments de cônes, sont à la base du trichromatisme rétinien.

Figure 4 - Mode schématique possible permettant de distinguer différentes longueurs d'onde par exemple L1, L2, L3 et L4. La longueur d'onde L1 est absorbée par le photopigment S avec une probabilité (a) et par les photopigments M et L avec une probabilité identique (b) créant une sensation de couleur bleue ; la longueur d'onde L2 est absorbée par le photopigment S avec la même probabilité (a) que la longueur d'onde L1, mais s'en différencie grâce à son absorption par le photopigment M avec une probabilité (c) et par le photopigment L avec une probabilité (d), initiant alors une sensation différente de couleur bleu-vert. De même, les longueurs d'onde L3 et L4 bien qu'étant absorbées par le photopigment L avec la même probabilité (f) sont ressenties comme différentes par un sujet normal car L3 est aussi absorbée par le photopigment M avec une probabilité (e) tandis que L4 est absorbée par ce même pigment M avec une probabilité différente (g) créant, pour L3, une sensation de couleur verte et, pour L4, une sensation de couleur rouge-orangé.



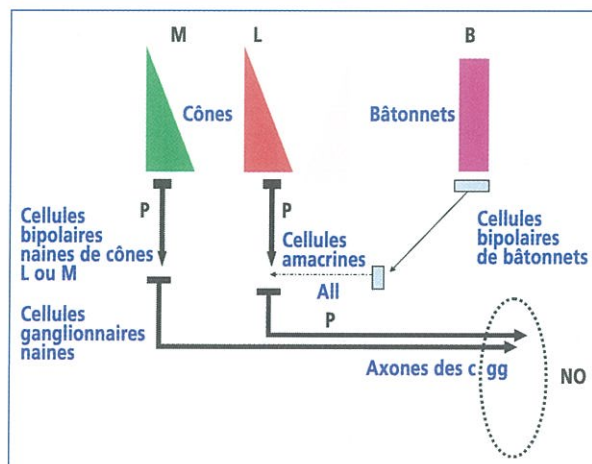
■ Antagonismes "rouge/vert" ou "bleu/jaune"¹¹

Circuits cellulaires sous-jacents à l'antagonisme "rouge/vert"

Les cônes L et M centraux sont reliés séparément et individuellement à des cellules bipolaires naines qui font synapses avec des cellules ganglionnaires naines ; leurs axones forment 80 % des fibres du nerf optique : c'est la voie P (Fig. 5)¹². Elle fait synapse aux couches parvocellulaires des corps géniculés latéraux, puis se poursuit par les radiations optiques et se termine aux couches 4Cbêta des aires visuelles primaires puis à des regroupements de cellules ayant des propriétés homogènes dits "blobs" situés aux couches 2¹³.

À partir de 550 nm, la probabilité d'absorption des photons par le photopigment S est négligeable (inférieure à 1/1 000). Les longueurs d'onde comprises entre 550 nm et 700 nm ne sont donc en pratique codées que par les photopigments M et L (Fig. 4). Pour chacune de ces longueurs d'onde, il y a comparaison entre les signaux issus d'une part des cônes M et d'autre part des cônes L et véhiculés séparément par les circuits des couches internes de la rétine de la voie P (Fig. 5). C'est la phase initiale de l'antagonisme "rouge/vert".

Figure 5 - Schéma de l'organisation de la voie P. Lorsque le niveau lumineux est élevé (vision de jour), la voie P véhicule les informations issues directement des cônes L d'une part et M d'autre part, grâce aux cellules bipolaires naines puis aux cellules ganglionnaires naines, avec conservation de la séparation des messages provenant des cônes L ou des cônes M. Lorsque le niveau lumineux est faible (vision de nuit), la voie P transmet indirectement les informations issues des bâtonnets (B) par les cellules bipolaires de bâtonnets, puis les cellules amacines AII, et les cellules ganglionnaires naines ; leurs axones constituent environ 80 % des fibres du nerf optique (NO) ; ils font synapse aux couches parvocellulaires des corps géniculés latéraux. La voie P est à l'origine de l'antagonisme "rouge/vert".

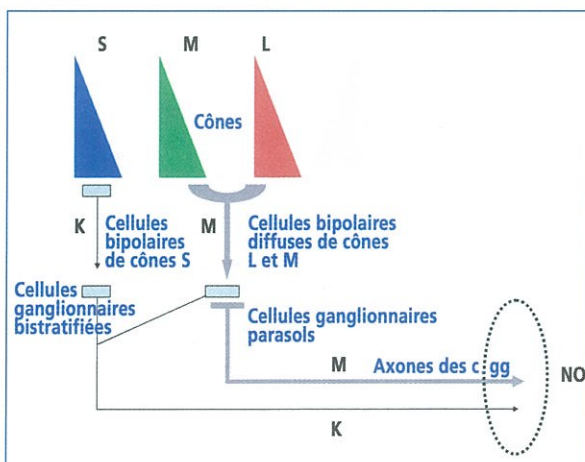


Circuits cellulaires sous-jacents à l'antagonisme "bleu/jaune"

Les cônes S ont un circuit propre. Plusieurs cônes S font synapses avec des cellules bipolaires dites de cônes S, peu nombreuses, puis avec des cellules ganglionnaires bistratifiées, formant la partie directe de la voie K (Fig. 6). Les cellules ganglionnaires bistratifiées reçoivent aussi, mais indirectement, des informations provenant des cônes L et M par la voie M, différente de la voie P. La voie M (Fig. 6) recueille les informations issues conjointement des cônes L et M sans en faire la distinction : il y a mélange des signaux qu'ils proviennent de l'absorption des photons par des cônes L ou M, puis transmission aux cellules bipolaires diffuses et aux cellules ganglionnaires parasols ; leurs axones forment 20 % des fibres du nerf optique ; ils font synapse aux couches magnocellulaires des corps géniculés latéraux, puis la voie M se poursuit par les radiations optiques et se termine aux couches 4Calpha des aires visuelles primaires.

La voie K constitue moins de 1% des fibres du nerf optique¹⁴. Elle reçoit de façon directe les signaux issus des cônes S et

Figure 6 - Schéma de l'organisation de la voie K. Lorsque le niveau lumineux est élevé (vision de jour), la voie K véhicule les informations issues directement des cônes S par les cellules bipolaires de cônes S puis par les cellules ganglionnaires bistratifiées. Ces dernières reçoivent aussi, mais de façon indirecte, des signaux issus conjointement des cônes L et M par les cellules bipolaires diffuses qui initient la voie M ; cette dernière se poursuit par les cellules ganglionnaires parasols : leurs axones constituent environ 20 % des fibres du nerf optique et font synapse sur les couches magnocellulaires des corps géniculés latéraux. Les axones des cellules ganglionnaires bistratifiées qui poursuivent la voie K constituent moins d'un pour cent des fibres du nerf optique (NO) ; elles font synapses aux couches interlaminaires des corps géniculés latéraux. La voie K est à l'origine de l'antagonisme "bleu/jaune".



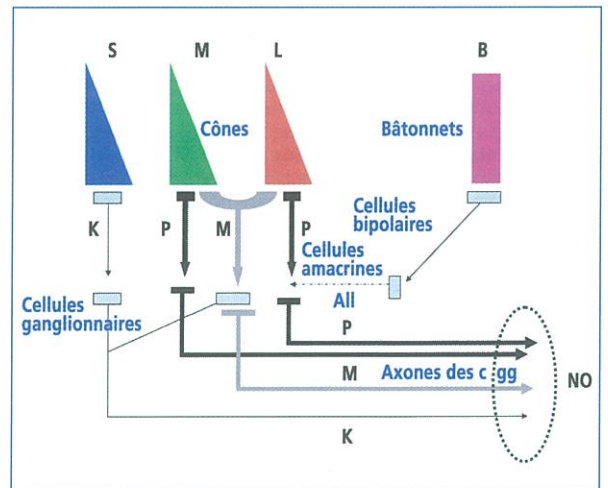
indirectement ceux des cônes L et M. Les axones des cellules ganglionnaires bistratifiées font synapses à deux intercouches des corps géniculés latéraux. Par les radiations optiques, les informations véhiculées de la voie K se terminent directement à des blocs des couches 2 des aires visuelles primaires, différents des blocs de la voie P.

Le mélange des longueurs d'onde codées par les cônes L et M correspondant à une sensation "jaune", cette voie K permet la comparaison entre les courtes et les moyennes longueurs d'onde par un antagonisme dit "bleu/jaune".

■ Aires corticales et vision des couleurs

Les sensibilités aux différentes longueurs d'onde s'élaborent dès le niveau rétinien par traitements antagonistes dus aux voies P et K (et accessoirement la voie M) (Fig. 7).

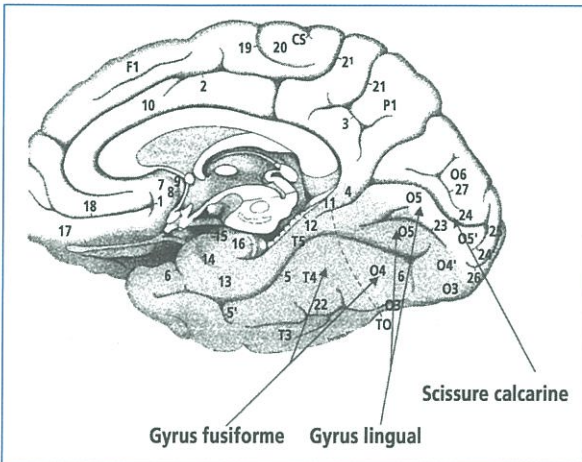
Figure 7 - Schéma de l'organisation des trois voies rétiniennes P, K et M et leurs relations avec les photorécepteurs : les cônes L, M et S et indirectement les bâtonnets (B).



Trois étapes corticales sont nécessaires pour aboutir à la perception colorée.

- La première revient aux blocs des aires visuelles primaires dites V1 et aux aires de prétraitement V2 qui signalent la présence de longueurs d'onde différentes ainsi que leurs différences d'intensité.
- La deuxième étape est dévolue aux aires extrastriées V4. Ce complexe est situé dans le cortex occipitotemporal ventral, part des gyrus lingual en O5 et fusiforme en O4 et T4 (Fig. 8). Il est constitué de deux zones importantes pour la perception colorée, l'une postérieure, proprement dite V4 et l'autre antérieure, dite V4alpha, qui sont intimement liées anatomiquement et fonctionnellement. Ce complexe V4 permet la perception des couleurs et le maintien de leur

Figure 8 - Vue interne d'un hémisphère droit. Par rapport à la scissure calcarine, position des gyrus lingual (en O5) et fusiforme (en O4 et T4) formant le complexe extrastrié V4 et V4 alpha, lieu d'élaboration de la perception des couleurs et du maintien de leur constance (d'après HM. Duvernoy, *The human brain, surface, blood supply and three dimensional sectional anatomy* 2nd edn. Springer, Wien, New York, 1999, p.491).



constance, sans faire appel ni à la mémoire ni au jugement ou à l'apprentissage.

- La troisième étape corticale se situe au niveau du cortex frontal et temporal inférieur, zones où est liée la reconnaissance d'un objet et de sa couleur¹⁵.

Du codage des longueurs d'onde contenues dans les lumières arrivant sur la rétine, à la perception de la couleur des objets, toute une chaîne complexe est activée. Un trouble héréditaire ou acquis, situé à tout niveau de la chaîne, peut être à l'origine d'une déficience de la vision des couleurs ou dyschromatopsie.

Références

1. Curcio CA, Sloan KR, Kalina RE, Hendrickson AE. Human photoreceptor topography. *J Comp Neurol.* 1990;292:497-523.
2. Sahel JA, Mohand-Said S, Leveillard T. Neuroprotection of photoreceptor cells in rod-cone dystrophies: from cell therapy to cell signalling. *C R Biol.* 2005;328:163-168.
3. Cicerone CM, Nerger JL. The relative numbers of long-wavelength-sensitive to middle-wavelength-sensitive cones in the human fovea centralis. *Vision Res.* 1989;29:115-128.
4. Kimble TD, Williams RW. Structure of the cone photoreceptor mosaic in the retinal periphery of adult humans: analysis as a function of age, sex, and hemifield. *Anat Embryol (Berl).* 2000;201:305-316.
5. Fitzgibbon J, Appukuttan B, Gayther S, Wells D, Delhanty J, Hunt DM. Localisation of the human blue cone pigment gene to chromosome band 7q31.3-32. *Hum Genet.* 1994;93:79-80.
6. Hagstrom SA, Neitz M, Neitz J. Cone pigment gene expression in individual photoreceptors and the chromatic topography of the retina. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis.* 2000;17:527-537.
7. Curcio CA, Allen KA, Sloan KR, et al. Distribution and morphology of human cone photoreceptors stained with anti-blue opsin. *J Comp Neurol.* 1991;312:610-624.
8. Greenstein VC, Hood DC, Ritch R, Steinberger D, Carr RE. S (blue) cone pathway vulnerability in retinitis pigmentosa, diabetes and glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1989;30:1732-1737.
9. Cho NC, Poulsen GL, Ver Hoeve JN, Nork TM. Selective loss of S-cones in diabetic retinopathy. *Arch Ophthalmol.* 2000;118:1393-1400.
10. 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. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis.* 2000;17:517-526.
11. Dacey DM, Packer OS. Colour coding in the primate retina: diverse cell types and cone-specific circuitry. *Curr Opin Neurobiol.* 2003;13:421-427.
12. Kleinschmidt A, Lee BB, Requardt M, Frahm J. Functional mapping of color processing by magnetic resonance imaging of responses to selective P- and M-pathway stimulation. *Exp Brain Res.* 1996;110:279-288.
13. Livingstone MS, Hubel DH. Anatomy and physiology of a color system in the primate visual cortex. *J Neurosci.* 1984;4:309-356.
14. Hendry SH, Reid RC. The koniocellular pathway in primate vision. *Annu Rev Neurosci.* 2000;23:127-153.
15. Zeki S, Marini L. Three cortical stages of colour processing in the human brain. *Brain.* 1998;121:1669-1685.

Les aspects génétiques des dyschromatopsies

J. Leid,
Pau

Il est impossible de parler de vision des couleurs sans parler de génétique. Les plus grands généticiens du XX^e siècle ont fait progresser leur science en s'appuyant sur l'étude de la vision des couleurs chez l'homme et chez l'animal. Ce domaine constitue en effet un terrain expérimental particulièrement privilégié, propice à l'éclosion de théories et à leur démonstration. Au cours du congrès de l'*International Resarch Group on Color Vision Deficiencis* (devenu depuis l'*International Color Vision Society*) de Pau en 1995, se sont affrontées les théories modernes de la perception colorée qui ouvrent la voie à une conception bien différente de celle qui est la nôtre depuis de nombreuses décennies.

Nous ne décrivons pas ici les fondements génétiques complexes qui président à ces théories mais nous avons tenu compte de ces éléments récents pour d'une part affiner la terminologie de la vision des couleurs dont on connaît l'importance cruciale pour la bonne compréhension de cette discipline et d'autre part expliquer certains aspects cliniques des dyschromatopsies d'une façon qui pourra paraître parfois surprenante.

En 2001, nous avons profité, en accord avec tous les auteurs de l'ouvrage, de l'opportunité que nous offrait la rédaction du rapport annuel des sociétés d'ophtalmologie de France sur les *dyschromatopsies* pour faire coïncider la terminologie actuellement en vigueur avec la réalité génétique et pour poser une définition précise du daltonisme puisque ce terme est largement utilisé en France et notamment dans des textes légaux et administratifs.

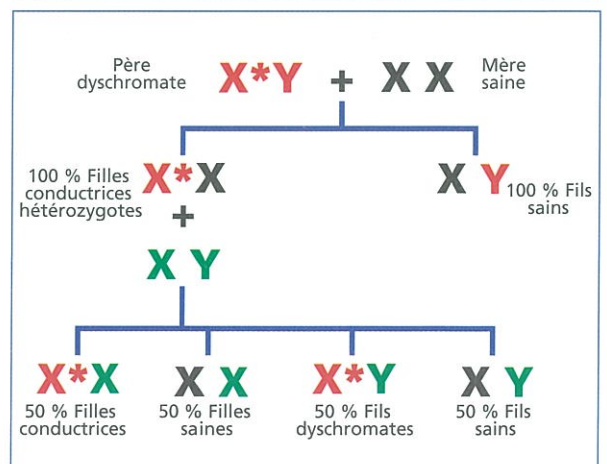
Seuls les grands traits indispensables à la compréhension des classifications qui vont suivre seront donnés ici. Bien entendu, ce chapitre concerne uniquement les dyschromatopsies héréditaires (DH).

Hérédité du daltonisme

On s'est aperçu dès la fin du XIX^e siècle que les "daltonismes" étaient le plus souvent héréditaires liés au sexe. C'est en 1911 que Wilson montre que les gènes en cause sont portés par le chromosome X. Il faudra encore attendre près de 20 ans pour établir que ce chromosome X porte deux locus, protan et deutan. Cette découverte permettra d'expliquer plus facilement la plupart des phénotypes connus.

Ces éléments suffisent à comprendre l'essentiel de la transmission des DH. Celles-ci sont le plus souvent soumises aux lois simples de l'hérédité récessive liée au sexe, de la même façon que des maladies bien connues comme l'hémophilie pour ne citer qu'un exemple (Fig. 1).

Figure 1 - Filiation simple du daltonisme suivant les lois mendéliennes de l'hérédité récessive liée au sexe.



La "tare", comme on la nommait il y a un siècle (heureusement les mentalités et le langage ont bien changé depuis !), "saute une génération". Cette affirmation ancienne est exacte le plus souvent mais pas obligatoirement. Ce modèle de transmission mendélienne classique reste vrai aujourd'hui dans la plupart des cas.

- Un garçon daltonien a hérité son anomalie du chromosome X forcément reçu de sa mère (il faut savoir l'expliquer en consultation lors de la phase indispensable de l'information génétique qui est parfois d'ailleurs assez mal accueillie...).
- La mère est le plus souvent conductrice (porteuse saine), phénotypiquement trichromate normale, et elle tient son anomalie du chromosome X hérité de son père ou de sa mère. Le grand-père peut donc être daltonien mais pas obligatoirement. Il faut parfois remonter plusieurs générations pour retrouver le phénotype si la transmission s'est faite par les femmes à chaque fois.
- Une femme peut être daltonienne mais cela est beaucoup plus rare chez les hommes (environ 8 % d'hommes daltoniens en France pour 0,45 % de femmes daltoniennes) pour la simple raison que le gène ne s'exprime phénotypiquement que si les deux allèles sont porteurs de l'anomalie. Il faut donc qu'elle ait hérité à la fois d'un chromosome X atteint de son père mais aussi d'un chromosome X atteint de sa mère, laquelle peut être soit simplement conductrice soit, tout à fait exceptionnellement, elle-même daltonienne.
- Dans le sens de la descendance, les fils des daltoniens peuvent être daltoniens mais alors c'est de leur mère qu'ils auront hérité le X porteur de l'anomalie. Le père peut être lavé de tout soupçon. Il transmettra en revanche son X anormal à toutes ses filles qui seront phénotypiquement normales sauf si elles ont concomitamment hérité d'un X anormal de leur mère.

Tous ces éléments très simples de la génétique mendélienne doivent être bien connus des ophtalmologistes qui ne manqueront pas d'être questionnés à ce sujet et qui de toute façon se doivent légalement d'informer leurs patients. Ils le feront néanmoins avec beaucoup de tact et de prudence car les filiations ne sont pas toujours celles que l'on croit...

Problèmes de phénotype

Il reste cependant des zones d'ombre qui concernent en particulier des cas rares de dyschromatopsies héréditaires ainsi que les problèmes plus difficiles de relation entre le génotype et le phénotype. La transmission des trichromatismes

anormaux reste notamment d'interprétation difficile et n'est toujours pas tranchée de façon indiscutable, les théories génétiques restant encore à démontrer de façon irréfutable.

On pourra retenir cependant dans ces cas que le phénotype des daltoniens de la descendance n'est pas forcément identique à celui des sujets souches. Pour comprendre cela, il faut aller un peu plus loin dans l'aspect génétique fondamental.

Les gènes qui codent pour les protéines actives des pigments visuels des cônes appelés opsines sont situés sur le bras long du chromosome X. Il y en a deux, disposés l'un derrière l'autre : le premier, en amont, code pour le photopigment porté par le cône L et le second, en aval, code pour le photopigment porté par le cône M.

Pour réaliser toute la difficulté de la question, il faut avoir conscience que les deux opsines ne diffèrent entre elles que par 15 acides aminés soit environ 4 % de leur contenu.

La conjonction de la proximité microanatomique des deux gènes et de leur très proche constitution explique parfaitement la faible différence entre les dyschromatopsies de type protan et deutan mais explique aussi l'extrême variabilité des trichromatismes anormaux qui sont schématiquement liés à des perturbations dans la réplication des chromosomes (*crossing over* inter- ou intragéniques) avec l'apparition soit d'opsines supplémentaires (multichromatisme) soit d'opsines légèrement différentes (gènes hybrides) suivant les théories. Les deux théories ne sont d'ailleurs pas contradictoires (Fig. 2 et 3).

Figure 2 - Recombinaison (*crossing over*) intergénique (d'après Piantanida et Nathans).

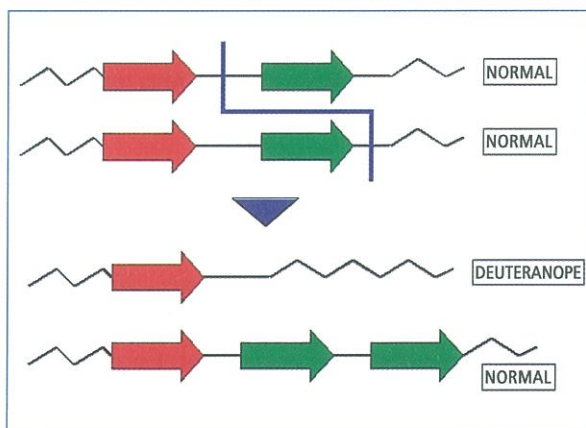
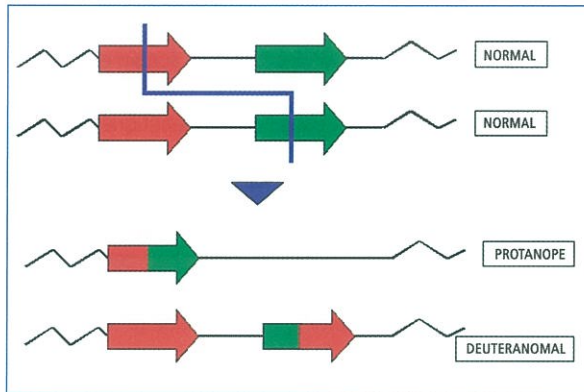


Figure 3 - Recombinaison (*crossing over*) intragénique (d'après Piantanida et Nathans).



Monochromatisme à cônes S

À un stade plus évolué encore, on trouve le monochromatisme à cônes S. Dans cette forme "ultime" du daltonisme, les deux gènes codant pour les cônes L et M sont inopérants. Seul le photopigment contenu dans les cônes S, qui ne dépend pas, nous allons le voir, du chromosome X, continue à être efficace. La perception colorée qui nécessite, en aval des cônes puis le long des voies optiques jusqu'au cortex cérébral, tout un système de codage par comparaison des signaux issus de l'absorption par au moins deux types différents de photopigments permettant un antagonisme spectral n'est donc plus possible ; seules les informations correspondant à différentes luminosités (perçues en niveaux de gris) sont possibles.

L'hérédité du monochromatisme à cônes S reste récessive, liée au sexe.

Tritanopie

Les autres formes de DH ont donné lieu très longtemps à des interprétations et des théories incertaines.

Tout cela a vu son terme avec les importants travaux du généticien Jeremy Nathans qui a mis en évidence dès 1986, alors qu'il était encore étudiant, les éléments de génétique moléculaire qui ont ouvert la voie de la connaissance en matière de DH.

Nathans découvrit que le chromosome autosomique numéro 7 était doté d'un gène qui codait pour l'opsine du

pigment porté par les cônes S. La tritanopie trouvait ainsi son support génétique.

La tritanopie présente une hérédité autosomale dominante. Comme il n'y a pas de gène hybride, il n'existe pas de tritanomalie héréditaire.

Entre temps, la connaissance des voies de transmission du signal à partir des cellules ganglionnaires notamment et permettant la sensation colorée avait mis un terme aux hypothèses anciennes à l'origine du vocable d'axe tétartan qui n'existe pas pour les DH. Tous les tests de vision des couleurs mentionnaient encore cet axe.

Cette terminologie a été conservée cependant pour permettre de dénommer avec plus de précision les dyschromatopsies acquises (DA) d'axe bleu-jaune qui sont de loin les plus nombreuses, mais il faut avoir toujours présent à l'esprit que l'axe tétartan héréditaire est une pure vue de l'esprit.

Achromatopsies héréditaires

Le problème de l'origine des achromatopsies héréditaires restait entier après la première découverte de Nathans. Il fallut attendre encore quelques années (fin des années 90) pour faire une double découverte. D'une part les gènes qui président à l'achromatopsie sont situés sur deux autres autosomes, les chromosomes 2 et 8, d'autre part l'achromatopsie, qui est d'hérédité autosomale récessive, n'est pas liée à une anomalie des pigments visuels mais à une altération d'une étape de la transduction aboutissant à une absence de fonctionnement des cônes. Les achromates possèdent donc des opsines normales ; leurs cônes sont pourvus de pigments visuels normaux mais ils sont non fonctionnels par défaut de leurs mécanismes cellulaires.

On remarquera à cette occasion que les achromates sont des sujets pourvus de cônes histologiquement normaux (d'où la plupart du temps l'aspect normal de leur fond d'œil).

Nous terminerons par la définition "génétique" que nous avons retenue pour le daltonisme :

Le daltonisme désigne exclusivement les dyschromatopsies héréditaires dont la transmission est liée au chromosome X.

Il inclut donc les dichromatismes protan et deutan, les trichromatismes anormaux et le monochromatisme à cônes S.

Points forts

- Le daltonisme désigne toute dyschromatopsie héréditaire liée à une anomalie du chromosome X.
- Il est à transmission récessive liée au sexe.
- Il y a en France environ 8 % d'hommes daltoniens et 0,45 % de femmes daltoniennes.
- Les trichromatismes anormaux sont génétiquement plus complexes que les dichromatismes et leur traduction phénotypique n'est pas immédiate.
- La tritanopie est due à une altération du chromosome 7.
- La tritanomalie héréditaire n'existe pas.
- L'achromatopsie est déterminée par des atteintes actuellement connues des chromosomes 2 et 8 ; les cônes ne fonctionnent pas mais ont des photopigments normaux.

Classification des dyschromatopsies héréditaires et acquises

F. Rigaudière¹, J. Leid²

¹Explorations visuelles - Hôpital Lariboisière, Paris
²Pau

La classification des dyschromatopsies héréditaires et acquises repose sur la réalité de confusions faites entre couleurs, par atteintes des mécanismes physiologiques qui génèrent la sensation colorée. La classification des dyschromatopsies héréditaires est de compréhension relativement aisée dans le cadre d'une simplification pédagogique. Celle des dyschromatopsies acquises, à causes multiples, intriquées et évolutives, est plus complexe à standardiser.

Le sujet dont la vision des couleurs est considérée comme normale est qualifié de trichromate normal.

Les dyschromatopsies héréditaires

Les dyschromatopsies les plus courantes sont celles liées au chromosome X ou daltonisme qui touche environ 8 % de la population masculine (Cf. p. 9) ; d'autres dyschromatopsies héréditaires se rencontrent rarement comme l'achromatopsie, autosomique récessive ou la tritanopie, autosomique dominante. Leur intérêt ergonomique est majeur et leur détection chez les jeunes, avant les orientations scolaire et professionnelle, indispensable.

■ Dyschromatopsies liées à l'X ou daltonisme : classification

Elles sont dues aux variations de la composition des photopigments contenus dans les cônes L et/ou M ou à l'absence de l'un, de l'autre ou des deux photopigments. Ces variations entraînent, pour une longueur d'onde donnée, une modification de leur probabilité d'absorption par rapport à la normale. Il en résulte un changement des réponses issues des cônes puis véhiculées jusqu'aux aires visuelles.

La sensation colorée résultant de la ou des longueur(s) d'onde initialement absorbée(s) sera différente de celle perçue par un sujet normal ; cette sensation différente est une déficience de la vision des couleurs ou dyschromatopsie.

Si les défauts de composition des photopigments sont relatifs au photopigment L, les déficiences sont dites de type "protan" ; si elles sont liées au photopigment M, elles sont dites de type "deutan".

Trichromatisme anormal : modification de composition du photopigment L ou M

Il est possible qu'un seul photopigment soit de composition anormale (L ou M), les deux autres étant normaux. L'ensemble des photons de la lumière visible sera absorbé par trois photopigments, le sujet est *trichromate anormal* ou atteint d'un *trichromatisme anormal*.

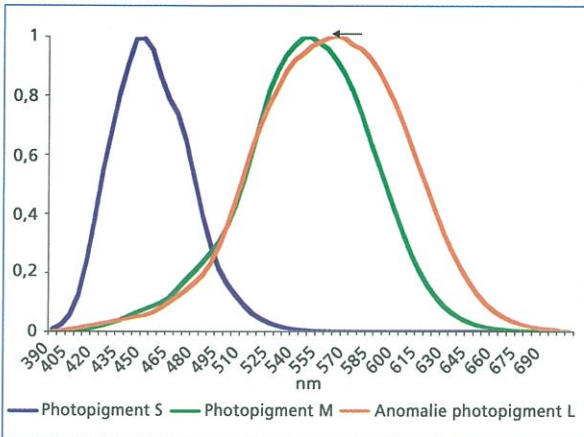
Protanomalie

Si la déficience est liée à la composition anormale du photopigment L, elle est appelée "protanomalie".

La probabilité maximale d'absorption du photopigment L est

modifiée ; elle passe de 560 nm à 545 nm, voire 535 nm, alors que les photopigments M et S gardent une probabilité d'absorption des photons normale (Fig. 1).

Figure 1 - Protanomalie. Probabilité d'absorption des trois photopigments : S normal, M normal et L modifié avec déplacement de son maximum d'absorption vers les moyennes longueurs d'onde.



trois photopigments. Le sujet déficient perçoit en couleur toutes les longueurs d'onde de la lumière, la sensation colorée étant cependant différente pour la plupart des couleurs de celle du sujet normal.

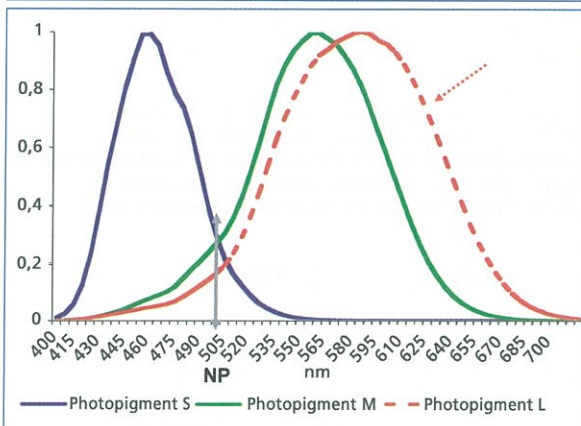
Dichromatisme : absence de synthèse du photopigment L ou M

Il peut y avoir absence de synthèse d'un des deux photopigments liés à l'X : soit absence de synthèse du photopigment L, soit du photopigment M par un mécanisme de blocage maintenant élucidé du gène qui en est responsable. L'ensemble des photons de la lumière visible n'est alors plus absorbé que par deux photopigments, le sujet est *dichromate* ou atteint d'un *dichromatisme*.

Protanopie

S'il y a absence de synthèse du photopigment L, restent les deux autres photopigments M et S qui sont normaux : c'est une protanopie (Fig. 3).

Figure 3 - Protanopie. Probabilité d'absorption des deux photopigments restants. Les photopigments S et M sont normaux. Il y a absence du photopigment L.

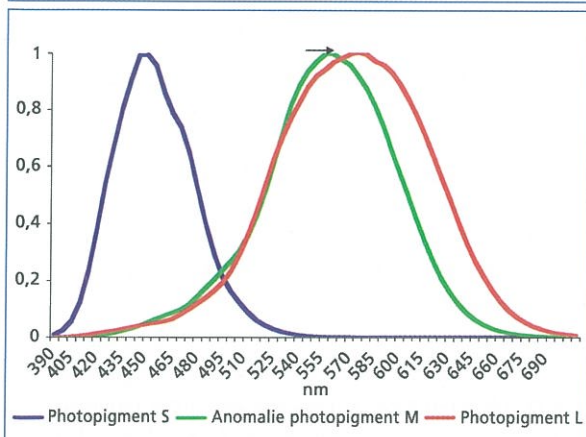


Deutéranomalie

Si la déficience est due à la variation de composition du photopigment M, elle est appelée "deutéranomalie". La probabilité maximale d'absorption du photopigment M est différente de la normale ; elle passe de 530 nm à 545, voire 555 nm, tandis que les photopigments L et S conservent une probabilité normale d'absorption des photons (Fig. 2).

Dans ces deux cas, la vision des couleurs est possible puisque l'analyse de la lumière repose sur le codage effectué par

Figure 2 - Deutéranomalie. Probabilité d'absorption des trois photopigments : S normal, M modifié avec déplacement de son maximum d'absorption vers les grandes longueurs d'onde, L normal.



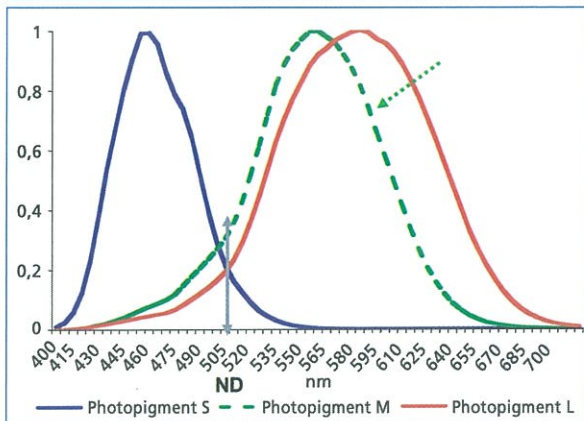
Deutéranopie

Lorsque qu'il y a absence de synthèse du photopigment M, les deux autres photopigments L et S étant normaux : c'est une deutéranopie (Fig. 4).

La vision des couleurs est possible car le système visuel est encore capable d'effectuer des comparaisons entre signaux mais issus seulement de deux types de cônes. Elle diffère cependant de la vision des couleurs normale ; toutes les longueurs d'onde contenues dans la lumière ne sont pas vues en couleur et certaines longueurs d'onde peuvent être confondues sensiblement deux à deux (voir plus loin).

L'acuité visuelle des sujets dichromates est normale puisqu'il n'y a pas d'altération organique des photorécepteurs.

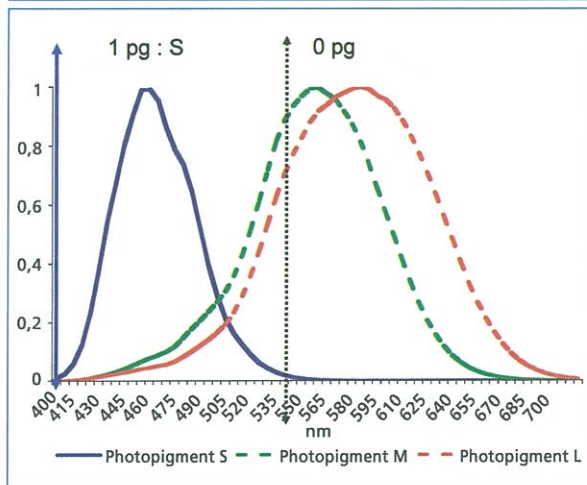
Figure 4 - Deutéranopie. Probabilité d'absorption des deux photopigments restants. Les photopigments S et L sont normaux. Il y a absence du photopigment M.



Monochromatisme à cônes S : absence de synthèse des photopigments L et M

Cette affection est rare. Dans ce cas, il y a absence de synthèse des deux photopigments liés à l'X, donc absence conjointe des photopigments L et M. Seuls les cônes S ont un photopigment normalement fonctionnel (Fig. 5).

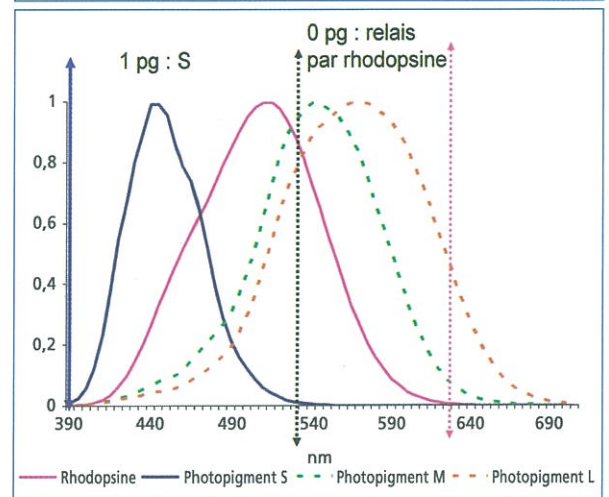
Figure 5 - Monochromatisme à cônes S. Probabilité d'absorption des photons de longueurs d'onde comprises entre 400 et 550 nm par le seul photopigment (pg) S présent. La vision colorée est impossible. La perception se fait en nuances de luminosité.



Ce déficit combine une protanopie et une deutéranopie. La sensation créée par les différentes longueurs d'onde comprises entre 400 nm et environ 550 nm se fait uniquement grâce au codage effectué par le photopigment S. Elle est en nuance de luminosité avec une sensation de plus

grande luminosité pour les longueurs d'onde aux environs de 420 nm, probabilité maximale d'absorption du photopigment S. Il a été constaté que le sujet atteint pouvait discerner des longueurs d'onde allant jusqu'aux environs de 600 nm. Dans ce cas spécifique, il y a coopération entre les cônes S et le système des bâtonnets pour coder les différentes longueurs d'onde et permettre une sensation de luminosité entre 400 et 600 nm environ (Fig. 6)¹. Cette sensation est difficile à caractériser par rapport à la vision colorée du sujet normal. Il n'y a pas à proprement parler de "vision des couleurs", même si le sujet atteint est capable d'attribuer à différentes luminosités des noms de couleurs relativement appropriés et trompeurs pour l'entourage (ciel bleu, herbe verte).

Figure 6 - Monochromatisme à cônes S. Probabilité d'absorption du photopigment S et de la rhodopsine contenue dans les bâtonnets. Cette dernière permet d'étendre la gamme des longueurs d'onde absorbées jusque vers 600 nm pour une seule sensation en nuances de luminosité.



Ce déficit se manifeste par un nystagmus et une photophobie qui peuvent être très discrets ; l'acuité visuelle est souvent limitée à 0,3 ou 0,4 et associée à un fond d'œil normal. Cette déficience a été longtemps classée comme une achromatopsie et dénommée achromatopsie incomplète liée à l'X. Les résultats des tests de la vision des couleurs sont, dans la plupart des cas, différents entre le monochromatisme à cônes S et l'achromatopsie bien que ces deux affections puissent se ressembler cliniquement.

En cas de doute sur les résultats des tests de la vision des couleurs, un électrorétinogramme flash enregistré selon le protocole international², permet d'en faire la différence³. On ne sait pas si le nombre total des cônes présents dans

la rétine est diminué par absence des cônes L et M, ou bien si les cônes L et M sont présents mais non fonctionnels par absence de photopigments. Dans certaines familles atteintes, l'évolution à long terme de cette déficience se fait vers une dystrophie maculaire ce qui semble confirmer cette dernière hypothèse avec involution des segments externes des photorécepteurs L et M¹ vides de photopigments⁵.

Le tableau I résume la classification du daltonisme basée sur la qualité du photopigment contenu dans les cônes.

Tableau I - Résumé de la classification du daltonisme basée sur la qualité du photopigment contenu dans les cônes. Trois photopigments, chacun étant de composition normale : trichromatisme normal ; un photopigment de composition anormale : trichromatisme anormal ; un photopigment absent, les deux autres étant normaux : dichromatisme ; deux photopigments absents, celui restant étant normal : monochromatisme à cônes S.

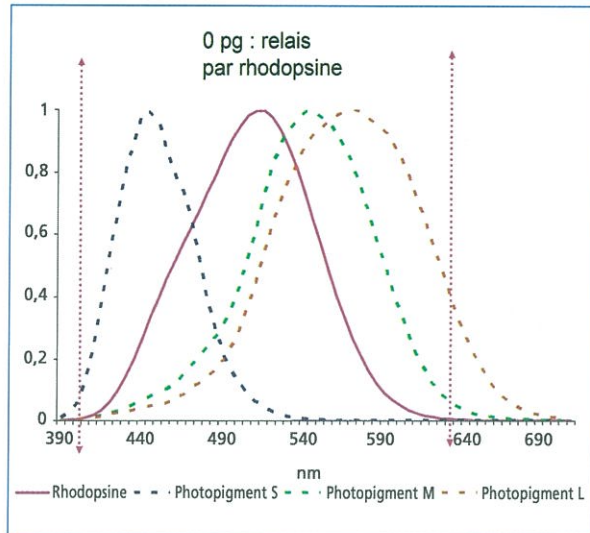
	Pigment S	Pigment M	Pigment L
Trichromatisme normal	Normal	Normal	Normal
Trichromatisme anormal	Normal	Normal	A-normal : protanomalie
	Normal	A-normal : deutéranomalie	Normal
Dichromatisme	Normal	Normal	Absent : protanopie
	Normal	Absent : deutéranopie	Normal
Monochromatisme à cônes S	Normal	Absent	Absent

■ Dyschromatopsie autosomique récessive : l'achromatopsie

L'achromatopsie est une affection congénitale rare, de transmission autosomique récessive. Le sujet achromate n'a pas de vision des couleurs. Le mécanisme de son affection diffère de celui des dyschromatopsies liées à l'X. L'achromatopsie ne fait donc pas partie du daltonisme.

Il a été montré que les trois classes de cônes sont présentes dans la rétine, que les photopigments contenus dans les cônes sont normalement codés par les chromosomes X (L et M) et 7 (S). L'anomalie conduisant à l'achromatopsie est commune aux trois types de cônes et aboutit à leur absence de réponse. Elle se situe à différents niveaux des séquences de la transduction, c'est-à-dire de la chaîne de transformation de l'énergie lumineuse apportée par les photons, en un signal physiologique⁶⁻⁸. Les longueurs d'onde sont uniquement codées par la rhodopsine, photopigment contenu dans les bâtonnets (Fig. 7).

Figure 7 - Achromatopsie. Les trois types de cônes sont présents mais ne répondent pas. Seule la rhodopsine contenue dans les bâtonnets est capable de coder les différentes longueurs d'onde contenues dans la lumière, schématiquement allant de 400 à 600 nm. Le sujet achromate ne perçoit que des nuances de luminosité. La longueur d'onde proche de 510 nm est celle perçue la plus claire alors que cette longueur d'onde donne une sensation de bleu-vert pour un sujet normal.



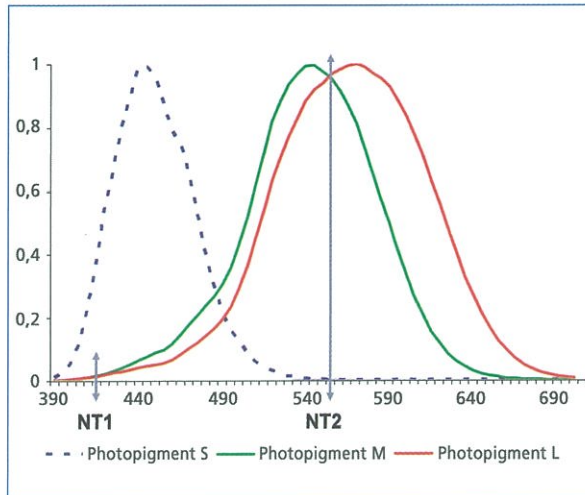
Il y a cliniquement, un nystagmus, une photophobie, une absence de vision des couleurs due à l'absence de réponse des cônes, associés à un fond d'œil d'aspect normal, puisque toutes les cellules rétinienne sont normalement présentes ; l'acuité visuelle est de l'ordre de 0,1. C'est le diagnostic différentiel du monochromatisme à cônes S.

■ Dyschromatopsie autosomique dominante : la tritanopie

Elle est présentée ici à titre systématique, mais uniquement pour mémoire, étant donnée sa rareté. Elle correspond à des mutations génétiques qui aboutissent à un photopigment S muté perturbant la structure et/ou la viabilité des cônes S ; le fonctionnement des photopigments L et M reste normal (Fig. 8). Les sujets atteints peuvent distinguer sensiblement toutes les longueurs d'onde de la lumière visible comprises entre 450 et 700 nm avec cependant deux zones perçues sans couleur (zones neutres) et des confusions faites entre différentes couleurs.

La pénétrance de cette hérédité étant souvent incomplète, leurs manifestations cliniques peuvent passer inaperçues. Seuls les sujets homozygotes correspondant aux cas de pénétrance complète, configuration rare, peuvent être qualifiés de tritanopes.

Figure 8 - Tritanopie. C'est un dichromatisme avec un photopigment S muté et non fonctionnel et normalité des photopigments L et M. Le sujet perçoit une partie de la lumière visible sans couleur qui se répartit en deux zones dites neutres : NT1 et NT2 ; l'une est située vers les courtes longueurs d'onde (perçues normalement bleues) et l'autre vers les moyennes longueurs d'onde (perçues normalement jaunes), là où les probabilités d'absorption par les deux photopigments L et M restants sont identiques.



La tritanopie héréditaire doit être distinguée d'une affection acquise qui lui ressemble et qui entraîne une dyschromatopsie similaire : l'atrophie optique autosomique dominante. Cette dernière est liée à un gène déficient porté par le chromosome 3^e et non pas à une absence de photopigment S (chromosome 7).

■ Caractéristiques spécifiques des dyschromatopsies liées à l'X

Fréquence et signes cliniques

Elles touchent davantage le sexe masculin que féminin du fait de leur mode de transmission lié à l'X (Tableau II).

Le daltonisme est congénital et bilatéral ; son atteinte est symétrique, ses caractéristiques colorimétriques sont immuables et non évolutives. Pour le trichromatisme anormal et le dichromatisme, ces déficiences sont isolées, c'est-à-dire qu'elles ne sont associées à aucun autre signe clinique ; elles peuvent rester inconscientes et donc passer inaperçues très longtemps (en particulier les trichromatismes anormaux) tant leur dépistage en France est peu systématique. En période scolaire il n'est fait que rarement. Les dyschromatopsies ne sont parfois diagnostiquées que lors d'une consultation chez l'ophtalmologiste pour orientation professionnelle, ou bien plus tard lorsque la presbytie arrive...

Pour le monochromatisme à cônes S, s'y associent souvent une acuité visuelle de l'ordre de 4/10^e ou moins avec un discret nystagmus et une petite photophobie. Cette déficience est cependant si rare que pratiquement le daltonisme se résume au trichromatisme anormal et au dichromatisme.

Tableau II - Fréquence de répartition en fonction du sexe des dyschromatopsies héréditaires liées à l'X et autres (d'après Sharpe LT, Stockman A, Jägle H, Nathans J. 1999).

Fréquence du daltonisme	Sexe masculin (%)	Sexe féminin (%)
Trichromatisme anormal		
Protanomalie	1,08	0,03
Deutéranomalie	4,63	0,38
Dichromatisme		
Protanopie	1,01	0,02
Deutéranopie	1,27	0,01
Monochromatisme à cônes S		
	0,002	1/10 ¹⁰
Total environ	8	0,4
Fréquence des autres dyschromatopsies héréditaires		
Achromatopsie	0,002	Id.
Tritanopie	0,0015	Id.

Vision des couleurs des dichromates

Les deux caractéristiques principales de la perception colorée des dichromates sont résumées dans la présence d'une zone neutre et l'existence de confusions colorées.

Présence de zones neutres

Certaines longueurs d'onde sont perçues par les dichromates comme étant achromes c'est-à-dire incolores. En effet, pour chaque dichromatisme, il existe une zone assez étroite dans le spectre visible dite "zone neutre" située autour de 492 nm pour le protanope (NP Fig. 3) et 498 nm pour le deutéranope (ND Fig. 4). Cette zone neutre est perçue comme grise, allant du gris foncé au gris clair selon l'intensité de la lumière, alors que les longueurs d'onde correspondant à ces zones neutres procurent des sensations bleu-vert différentes pour le sujet normal. Ces zones neutres correspondent à une probabilité d'absorption identique des photons par les deux photopigments restants. Elles sont à distinguer de l'absence de perception des grandes longueurs d'onde, à l'extrémité du spectre (entre 650 et 700 nm), par le protanope.

Sensibilité différentielle

Les sujets dichromates, alors qu'ils n'ont pas de perception colorée dans leur zone neutre, sont au contraire très sensibles à une faible variation de longueur d'onde c'est-à-dire à une faible variation de couleur, au voisinage immédiat de celle-ci. Leur sensibilité différentielle à la couleur est particulièrement bonne de part et d'autre de leur zone neutre.

Confusions de couleurs

Les confusions colorées représentent l'aspect le plus évident et le plus important de la perception colorée des dichromates. Ce sont elles qui sont à l'origine de l'essentiel de leur handicap visuel. La modification des probabilités d'absorption des différentes longueurs d'onde chez le dichromate a pour conséquence la perception à l'identique (c'est-à-dire la confusion) de couleurs que le sujet normal perçoit comme des couleurs différentes. On peut tracer sur le diagramme de chromaticité des lignes de confusion colorée, bien définies, propres à chaque type de dichromatisme, le long desquelles le dichromate ne perçoit qu'une seule et même couleur (Fig. 9, 10, 11 et 12).

Il apparaît ainsi que l'axe neutre n'est qu'une ligne de confusion particulière, celle qui passe par le blanc, ce qui explique que le dichromate ne perçoive le long de cet axe que des teintes achromes (c'est-à-dire des gris selon la luminosité et la saturation).

De part et d'autre de cet axe neutre, le spectre du dichromate est ainsi partagé en deux zones au sein desquelles la couleur dominante perçue est sensiblement unique, bleue vers les courtes longueurs d'onde et jaune vers les plus grandes pour les protanopes et les deutéranopes (Fig. 13).

Figure 9 - Lignes de confusion colorée de type protan dans le diagramme de chromaticité.

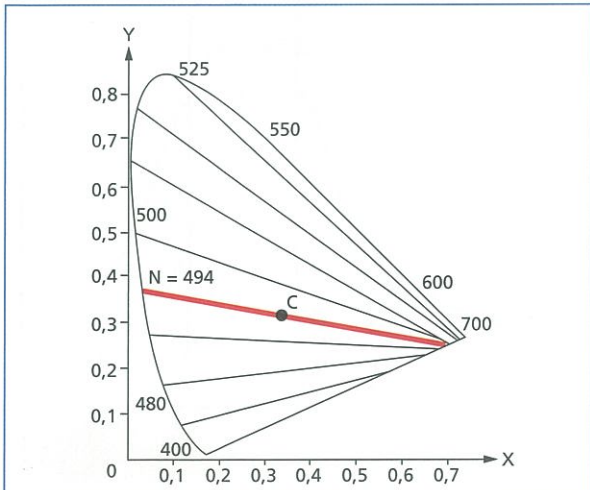


Figure 10 - Lignes de confusion colorée de type deutan dans le diagramme de chromaticité. On remarquera que leurs directions diffèrent peu de celles des lignes de confusion de type protan.

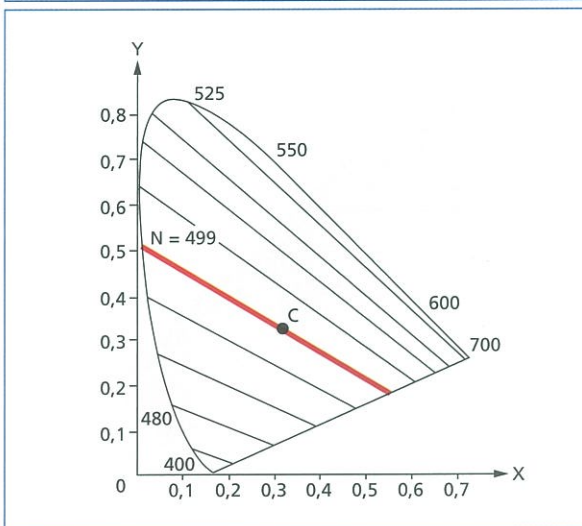


Figure 11 - Lignes de confusion colorée de type tritan dans le diagramme de chromaticité. On observera que leurs directions sont franchement différentes de celles des lignes de confusion protan et deutan.

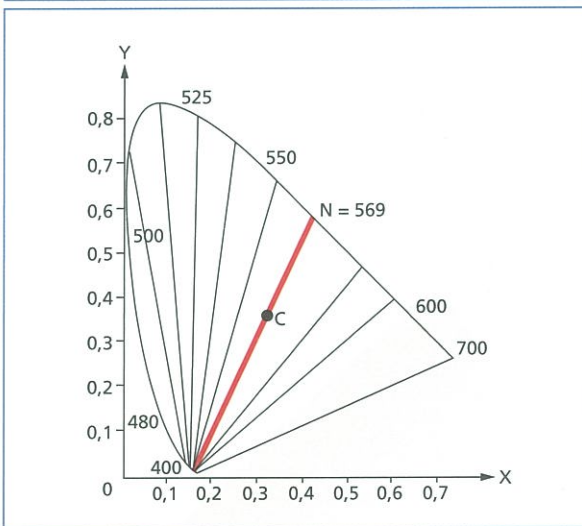


Figure 12 - Confusions colorées chez un protanope. Deux lignes de confusion colorée de type protan sont représentées. Les couleurs A et B situées sur la même ligne de confusion sont perçues à l'identique par le protanope, elle sont confondues. Il en est de même des couleurs C et D qui sont sur une autre ligne de confusion.

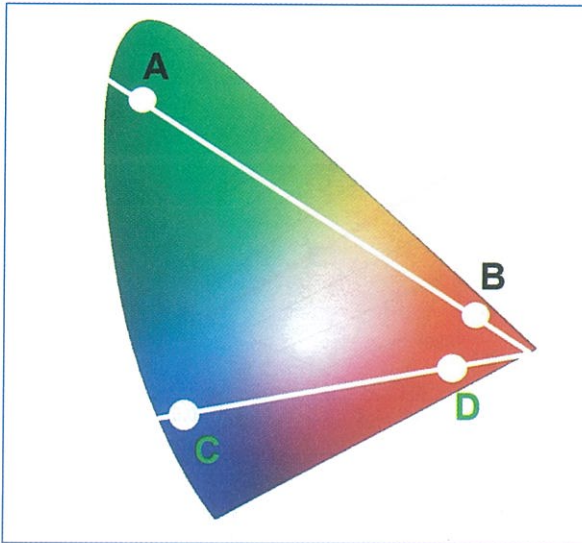
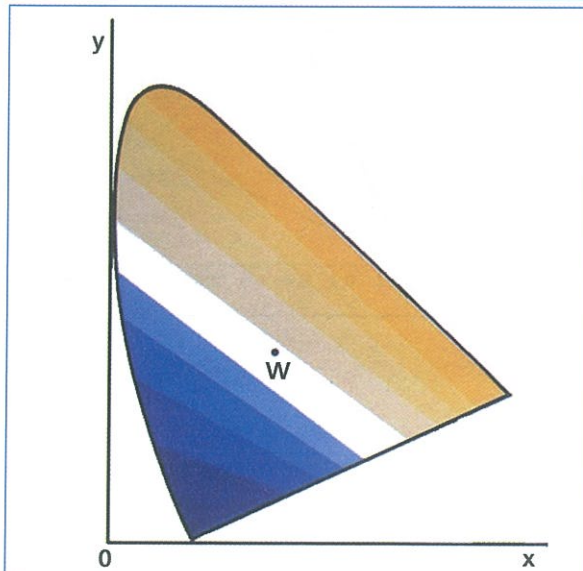


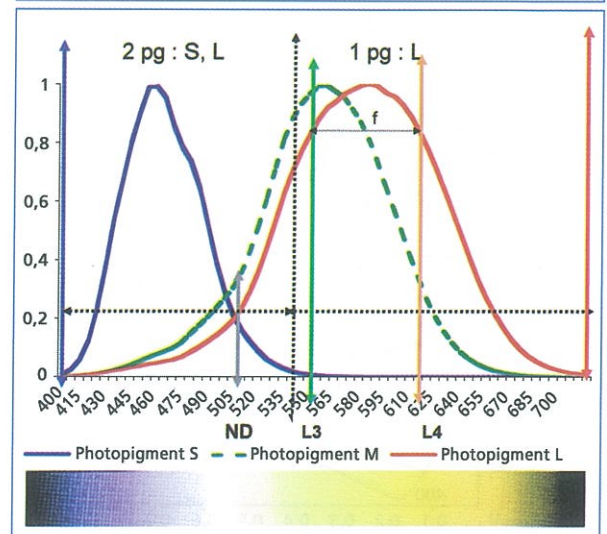
Figure 13 - Représentation schématique des couleurs perçues par le deutéranope dans le diagramme de chromaticité (d'après Lanthony). De part et d'autre de la zone neutre achromatique se trouvent deux zones globalement unicolores, bleue dans la région des courtes longueurs d'onde et jaune dans la région des grandes longueurs d'onde. Elles sont constituées de bandes de confusion colorée qui, en s'éloignant de la zone neutre, voient leur saturation apparente augmenter.



Pour les tritanopes, le spectre est partagé entre deux zones, l'une à dominante verte pour les courtes longueurs d'onde et l'autre à dominante rouge pour les plus grandes.

Prenons l'exemple à la figure 14 des deux longueurs d'onde L3 et L4. On a vu à la figure 4 de l'article "Comment voit-on en couleur" qu'elles sont perçues différemment pour un sujet normal : L3 est absorbé par le photopigment M avec la probabilité "e" et par le photopigment L avec la probabilité "f" et L4 est absorbé par le photopigment M avec la probabilité "g" et par le photopigment L avec la probabilité "f". Pour le sujet normal, la combinaison de deux probabilités d'absorption par les photopigments L et M permet de distinguer les longueurs d'onde L3 et L4 et de leur attribuer deux couleurs différentes. Pour le sujet deutéranope, il n'y a plus de photopigment M, ces deux longueurs d'onde différentes L3 et L4 ne sont plus absorbées que par le photopigment L avec la même probabilité "f" ; le sujet ne peut donc plus les distinguer ; elles créent une même sensation c'est-à-dire qu'elles sont perçues de la même couleur ; ces deux longueurs d'onde peuvent donc être confondues. L3 crée pour le sujet normal une sensation verte, L4 une sensation rouge-orangé ; d'où

Figure 14 - Principe schématique du mécanisme possible de la confusion entre deux longueurs d'onde différentes pour un sujet dichromate ; l'exemple est pris ici pour un sujet deutéranope. L3 et L4 ont la même probabilité d'absorption "f" par le photopigment L restant fonctionnel. Ces deux longueurs d'onde différentes procurent donc à ce sujet deutéranope des sensations colorées identiques : elles sont confondues, alors qu'elles sont perçues différentes pour un sujet normal, verte pour L3 et rouge orangé pour L4. Sous les courbes se trouve la représentation schématique du spectre vu par le deutéranope.



l'assertion que le daltonien confond le "rouge" et le "vert"... mais bien d'autres couples de couleurs peuvent être confondus, éloignés du couple rouge/vert.

Les trichromates anormaux, s'ils sont soumis comme les dichromates à des confusions colorées de même nature, de type rouge-vert, n'ont ni zone neutre, ni amputation du spectre comme les protanopes.

La réalité de la perception du daltonien est donc beaucoup plus complexe que ne le veut une simple présentation pédagogique (nous n'avons envisagé pour l'exemple que des couleurs spectrales) et qu'elle n'est habituellement connue des patients ("le daltonien confond le rouge et le vert"). En effet, beaucoup de couples colorés sont confondus, même dans des tonalités éloignées du vert et du rouge, ce d'autant qu'interviennent aussi les facteurs luminosité et saturation. Pour s'en convaincre on constatera par exemple qu'un protanope confond la couleur des pièces neuves cuivrées de 1, 2 et 5 centimes d'euro avec celle, dorée, des pièces neuves de 10, 20 et 50 centimes [J. Leid] (Fig. 15).

Figure 15 - Exemple pratique de couleurs confondues par un protanope en dehors de la mythique confusion entre le rouge et le vert. En haut, une pièce neuve en cuivre de 2 centimes d'euro et une pièce neuve en laiton de 10 centimes d'euro. Elles sont vues par le protanope de la même couleur et ne sont différenciées que par leur forme et leurs motifs. En bas, les mêmes pièces oxydées, qui cette fois, sont perçues de "couleurs" différentes.

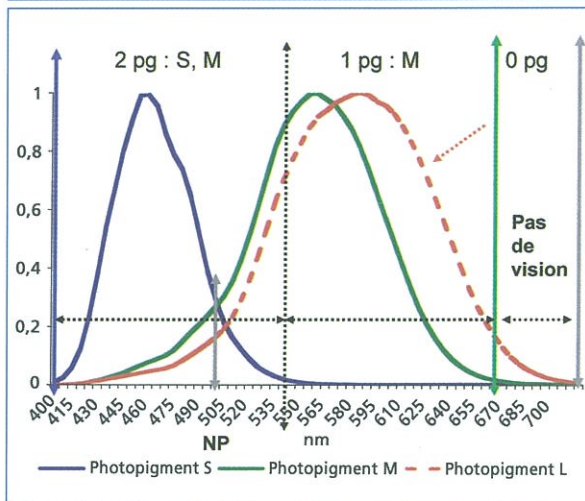


Particularités de la vision des couleurs des dichromates

Vision des protanopes

Les sujets protanopes ne voient pas les lumières de longueurs d'onde comprises entre 650 et 700 nm (Fig. 16), visibles par des sujets normaux comme un rouge soutenu. En effet, en l'absence de photopigment L, l'absorption des photons de longueurs d'onde supérieures à 650 nm est impossible puisque la limite de la probabilité d'absorption du photopigment M se situe vers 650 nm. Il y a une "amputation du spectre". Ces sujets sont vraiment aveugles à ces lumières rouges et ne voient pas, par exemple, la lumière rouge d'un pointeur laser. Ils ne distinguent qu'environ 21 nuances spectrales contre environ 150 chez un sujet normal (soit, pour un sujet normal, la perception d'une couleur différente pour des longueurs d'onde spectrales différant, en moyenne, de deux nanomètres dans les limites de la lumière visible 400-700 nm).

Figure 16 - Protanopie. En l'absence du photopigment L, il n'y a plus de photopigment pour absorber les photons de longueurs d'onde supérieures à 650 nm, limite de la probabilité d'absorption du photopigment M. Les sujets protanopes ne voient donc pas les lumières de longueurs d'onde comprises entre 650 et 700 nm, visibles par des sujets normaux. Il y a amputation du spectre. Ces longueurs d'onde correspondent à un rouge soutenu pour le sujet normal.

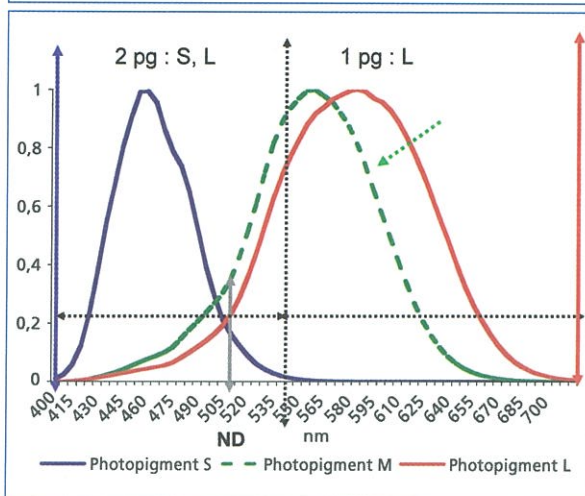


Vision des deutéranopes

Les sujets deutéranopes voient toutes les longueurs d'onde du spectre visible puisqu'ils possèdent deux photopigments le couvrant entièrement. Le photopigment S est sensiblement seul pour absorber les longueurs d'onde comprises entre 400-410 nm, puis en association avec le photopigment L pour absorber les longueurs d'onde allant de 410 nm environ

à 550 nm et enfin le photopigment L est seul pour les longueurs d'onde allant de 550 nm à 700 nm (Fig. 17). Les deutéranopes discernent environ 31 nuances spectrales. Pour une même longueur d'onde, leurs sensations colorées sont cependant différentes de celles du sujet protanope et a fortiori, du sujet normal.

Figure 17 - Deutéranopie. Le deutéranope est capable de vision tout le long du spectre puisque les probabilités d'absorption de ses deux photopigments restants couvrent le spectre entre 400 et 700 nm.



Conclusion

La classification des dyschromatopsies héréditaires repose essentiellement sur les mécanismes fondamentaux liés à la réponse des trois types de cônes. Pour les dyschromatopsies liées à l'X, les confusions entre deux longueurs d'onde différentes peuvent être approchées à l'aide de leur probabilité d'absorption identique réalisée par le photopigment présent. La réalité est plus complexe, mais grâce à cette explication simplificatrice, on comprend que pour les dichromates, il y ait plusieurs couples de longueurs d'onde différentes qui ont deux à deux, les mêmes probabilités d'absorption créant ainsi une même sensation colorée et qui peuvent donc être confondues.

La plupart des tests utilisés en clinique pour le dépistage des déficiences de la vision des couleurs s'appuient sur cette base physiologique de confusions faites entre deux couleurs différentes.

Les dyschromatopsies acquises

Elles sont toujours liées à une maladie ayant un retentissement visuel et peuvent quelques fois se surajouter à une dyschromatopsie héréditaire.

Fréquence et signes cliniques

Elles sont très fréquentes puisqu'on estime à 3 ou 4 millions le nombre de sujets atteints en France correspondant à environ 5 à 6 % de la population. Elles touchent indifféremment les hommes ou les femmes.

Ces dyschromatopsies sont acquises, asymétriques et conscientes ; leurs caractéristiques colorimétriques sont variables ; elles sont évolutives dans le temps et accompagnées d'autres signes fonctionnels qui peuvent constituer l'essentiel du tableau clinique.

Classification

Les déficiences acquises de la vision des couleurs peuvent schématiquement se diviser en trois catégories :

- celles liées à une distorsion globale de la perception colorée, temporaire ou durable : ce sont les chromatopsies ;
- celles liées à des troubles centraux, essentiellement corticaux : elles sont appelées dyschromatopsies centrales acquises ou troubles corticaux colorés ;
- celles liées à un trouble de fonctionnement de la rétine et/ou de ses voies visuelles : ce sont les dyschromatopsies d'axe acquises ; ce sont les plus fréquentes.

Ce cadre nosologique, établi par Köllner en 1912, reste d'actualité.

Les chromatopsies

Elles correspondent à une modification globale de la perception d'une surface blanche qui apparaît uniformément colorée de façon transitoire ou plus durable. Elles ont des origines multiples, périphériques ou centrales et sont désignées par la couleur dominante perçue. Si cette couleur est le jaune, c'est une xanthopsie qui peut se rencontrer au cours d'un ictère, d'un surdosage médicamenteux (par exemple à la digitaline) ou lors d'une cataracte avancée ; en vert, c'est une chloropsie (séreuse centrale, occlusion veineuse centrale) ; en rouge, c'est une érythroopsie telle qu'on en voit au cours d'une hémorragie modérée du vitré, d'une surexposition solaire en haute montagne ; en bleu, c'est une cyanopsie, classique, immédiatement après l'ablation du cristallin sauf si l'on a

placé un implant jaune ; en violet, c'est une ianthinopsie... Une chromatopsie sans cause oculaire doit faire rechercher une intoxication ou un trouble hystérique.

■ Les troubles corticaux colorés

Schématiquement, ce sont d'une part les hallucinoses et les hallucinations colorées et d'autre part, les troubles gnosiques de la perception colorée.

Les hallucinoses colorées

Elles correspondent à la perception par un sujet éveillé, d'une scène visuelle, extérieure à lui et dont il a conscience qu'elle n'existe pas dans la réalité. Ce peut être la perception de taches, de figures géométriques ou de scènes plus complexes. Le sujet n'adhère pas à sa perception. Ce phénomène n'est pas rare chez le sujet âgé qui le cache souvent car il craint de passer pour malade mental... Ce déficit est le plus souvent d'origine pédonculaire par trouble vasculaire. Son apparition doit alors être considérée comme un accident vasculaire ischémique transitoire et faire mettre en œuvre les examens complémentaires et les traitements appropriés. On retrouve ces hallucinoses dans le botulisme [J. Leid]. Les photismes colorés rencontrés dans les crises comitiales et surtout les migraines sont une autre forme d'hallucinoïse.

Les hallucinations colorées

Elles sont la perception par un sujet, d'un phénomène coloré qui est extérieur à lui mais qu'il croit être vrai, bien qu'il n'existe pas. Elles peuvent être liées à des tumeurs cérébrales ou, le plus souvent, à des intoxications comme l'alcool, le LSD ou des champignons.

Les achromatopsies corticales

Elles ne sont mentionnées que pour mémoire. Elles sont le plus souvent en relation avec une ischémie de l'aire V4¹⁰. D'autres troubles de la vision des couleurs peuvent survenir après une lésion cérébrale (dyschromatopsie corticale, anomie des couleurs, agnosie d'association entre un objet et sa couleur...). Dans ces cas, laissons aux neurologues le soin d'intégrer ces troubles des couleurs au bruyant tableau neurologique clinique.

■ Les dyschromatopsies d'axe acquises

Les sujets atteints ressentent souvent un changement dans leur vision, surtout si la dyschromatopsie est à prédominance unilatérale et sa survenue rapide ; cela peut être un affadissement des couleurs avec, le plus souvent, une sensation de désaturation ou même de disparition de certaines couleurs pouvant couvrir de vastes zones du spectre

coloré. Les patients peuvent alors décrire de larges régions grises dans leur spectre jusqu'à la perte complète de toute perception colorée. La nature des éléments altérés du système des cônes et/ou des voies visuelles permet de mieux comprendre les modifications qui s'ensuivent de la vision des couleurs des sujets atteints.

Les processus physiopathologiques des dyschromatopsies acquises sont plus complexes que la présentation qui suit ; ils ne sont succinctement décrits ici que pour aider le lecteur à comprendre la terminologie de leur classification.

Modification de la composition de la lumière arrivant sur la rétine

La lumière du jour, ou celle transmise par un objet coloré, atteint la rétine après avoir traversé les milieux transparents. Si, au cours de ce cheminement optique, une modification de la composition de la lumière incidente se produit par absorption de certaines longueurs d'onde, la composition de la lumière arrivant sur la rétine est différente de celle initialement émise. Cette modification entraîne une altération de la perception des couleurs donc une dyschromatopsie. La plus classique est liée au vieillissement physiologique du cristallin. Ce dernier absorbe globalement plus de lumière que le cristallin d'un sujet jeune (d'où la nécessité d'éclairer davantage les tests ou les tâches visuelles) mais il absorbe également davantage les courtes longueurs d'onde que les grandes. Toutes les couleurs qui contiennent du bleu tirent sur le gris. Le bleu peut être confondu en particulier avec le jaune.

Fragilité des cônes S et de l'antagonisme bleu/jaune

Il a été vu que les cônes S ne constituent que 10 % de l'ensemble total des cônes et que leur majorité est répartie sur les 12 degrés centraux. Les cônes S, comme la voie K qui gère l'antagonisme bleu/jaune, sont particulièrement vulnérables à toute perturbation rétinienne débutante qu'elle soit d'origine vasculaire, compressive ou dégénérative. On comprend alors pourquoi les rétinopathies diabétiques ou hérédodégénératives débutantes, le glaucome ou les rétinopathies des antipaludéens de synthèse – par atteinte préférentielle de la zone périfovéolaire – puissent perturber l'antagonisme bleu/jaune, à l'origine de la confusion de ces deux catégories de couleurs.

Cônes L et M prédominant en zone fovéolaire

Dans les quelques degrés centraux de la rétine – zone fovéolaire correspondant à la zone d'acuité visuelle maximale –, on rencontre essentiellement des cônes L et M, les quelques cônes S présents jouant un rôle moindre. L'atteinte localisée et spécifique de cette zone fovéolaire dont

la représentation corticale est large, est à l'origine d'une modification du codage des moyennes et grandes longueurs d'onde avec une confusion entre le rouge et le vert et donc désorganisation de l'antagonisme rouge/vert.

Nerfs optiques

Ils sont formés essentiellement par la voie P (80 % des fibres du nerf optique) qui véhicule les signaux issus de tous les cônes L ou M. Ainsi toutes les neuropathies optiques qu'elles soient d'origine toxique (éthambutol, alcool), dégénérative (démélinisation), ischémique ou atrophique, modifient-elles la conduction des signaux sous-jacents à l'antagonisme rouge/vert. Il y a, là aussi, possibilité de confusion entre le rouge et le vert.

Classification selon Verriest : axes de type I, II, III

Verriest a élargi les classifications antérieures et notamment celle de Köllner en 1964. Il distingue primitivement trois types de dyschromatopsies d'axe acquises.

Les processus amenant des déficits avec confusions de type rouge-vert sont dits de type I ou II et ceux aboutissant à des confusions de type bleu-jaune sont dits de type III. L'orientation des confusions se fait le plus souvent selon une même direction globale dite axe de confusion. L'orientation de l'axe de confusion de type I sera légèrement différente de celle de l'axe de type II.

Une dyschromatopsie d'axe acquise de type I est souvent reliée à une atteinte des cônes L et M de la zone fovéolaire. Elle est souvent franche et isolée et s'accompagne volontiers d'une scotopisation (ce qui signifie que la courbe d'efficacité lumineuse relative se déplace vers les courtes longueurs d'onde) et d'une perte de sensibilité pour les grandes longueurs d'onde.

Une dyschromatopsie d'axe acquise de type II se rencontre davantage lors d'atteintes des axones du nerf optique (voie P) ; elle se caractérise par un déficit de type rouge-vert prépondérant souvent associé à un déficit de type bleu-jaune moins important. Enfin une dyschromatopsie d'axe acquise de type III est le plus fréquemment reliée à une atteinte de tout ou partie de la surface rétinienne. Elle est caractérisée par l'atteinte prédominante du déficit bleu-jaune qui l'emporte franchement sur l'atteinte des déficits rouge-vert. Les axes de confusion principaux sont de type bleu-jaune et/ou violet-jaune.

Plusieurs processus d'atteintes visuelles peuvent s'interpénétrer et l'orientation de l'axe de la dyschromatopsie peut ne pas être univoque. Il est même possible que les altérations soient telles qu'on ne puisse pas trouver d'axe. Ces cas ont été qualifiés, dans un second temps, de type IV par Verriest, afin disait-il, de classer l'inclassable. En réalité, deux hypothèses

sont à retenir dans ces déficiences. Soit la dyschromatopsie acquise est à un stade avancé et tous les mécanismes permettant la sensation colorée sont altérés : cette dyschromatopsie est dite "sans axe" (ou anarchique), il s'agit d'une véritable achromatopsie acquise.

Soit une importante dyschromatopsie de type I ou II et une dyschromatopsie de type III sont associées. Dans ce dernier cas, il faut utiliser des tests appropriés pour séparer ces deux types d'axes. Dans certains cas enfin, on peut retrouver des tracés de type scotopique.

L'habitude est restée d'utiliser la terminologie "protan", "deutan", "tritan" et même "tétartan" pour désigner l'orientation principale des axes de confusion des dyschromatopsies acquises. Cette terminologie s'applique aux résultats des tests d'assortiment comme il sera vu plus loin. Elle entretient une ambiguïté entre les notions de dyschromatopsies héréditaires et acquises qui sont pourtant nosologiquement sans rapport ; elle est cependant consacrée par la pratique et, il faut bien le reconnaître, commode pour la description des déficiences acquises.

Les exemples donnés pour quelques pathologies illustreront ces notions (Cf. article "La vision des couleurs en pratique. Stratégies").

Caractéristiques colorimétriques des dyschromatopsies d'axe acquises

Il n'y a physiologiquement aucun rapport entre les dyschromatopsies héréditaires et acquises. Les premières relèvent d'un dysfonctionnement des cônes par modifications de leurs photopigments ou d'une absence de réponses des cônes. Elles sont donc bien définies sur le plan colorimétrique, avec notamment la présence d'une zone neutre étroite et de lignes de confusion colorée localisées avec précision dans le diagramme de chromaticité. Les secondes, acquises, sont le témoin d'une altération de mécanismes qui touchent plusieurs niveaux du système visuel à l'origine de la sensation colorée.

Désaturation des couleurs

À leur début, les dyschromatopsies acquises touchent principalement les couleurs désaturées. Ce caractère essentiel est à l'origine des différents tests utilisés pour les diagnostiquer.

Zones neutres

Pour les dyschromatopsies acquises comme pour les héréditaires, on retrouve des zones neutres. Elles sont cependant de localisation et de largeur variables dans le spectre, allant même jusqu'à en occuper une grande partie. Les lignes de confusion colorée sont de directions variables et imprévisibles.

Mauvaise sensibilité différentielle près des zones neutres

La sensibilité différentielle à la tonalité des dyschromatopsies acquises est mauvaise près de leurs zones neutres, contrairement aux dyschromatopsies héréditaires. Cela signifie que, près de ces zones où la couleur disparaît au profit d'une sensation achromatique, les capacités de discrimination colorée suivant la tonalité sont faibles.

Nombreuses qualifications des dyschromatopsies acquises

Cette variabilité explique que l'on ait besoin, pour qualifier les dyschromatopsies acquises, de termes génériques larges et volontairement imprécis. On parlera de dyschromatopsies d'axe rouge-vert, d'axe bleu-jaune, d'axe scotopique, d'axe protan, deutan, tritan, tétartan, d'axe mixte, de dyschromatopsies anarchiques, sans axe... Ces expressions approximatives sont le reflet d'une réalité complexe.

■ Dans quels cas rechercher une dyschromatopsie d'axe acquise ?

Sa recherche prend tout son intérêt quand le système visuel est cliniquement normal et qu'évolue une pathologie pouvant retentir sur la vision. Son but est de mettre en évidence des déficits débutants pouvant passer inaperçus à tous les autres examens cliniques et paracliniques.

L'étude répétée de la vision des couleurs dans certaines pathologies chroniques fournit aussi de précieux renseignements sur leur évolutivité (diabète, sclérose en plaques [SEP], pathologies dégénératives...). Enfin l'état de la perception colorée permet parfois d'apporter une aide à une décision thérapeutique (SEP) ou d'établir un diagnostic différentiel difficile comme au cours des neuropathies optiques.

Quelques exemples sont donnés ici, tout en se rappelant que les tests utilisés pour la mise en évidence des dyschromatopsies ne permettent que l'exploration des dix degrés centraux environ, donc celle de la seule vision centrale. S'il y a une atteinte spécifique de la rétine périphérique avec conservation fonctionnelle de la vision centrale, la vision des couleurs peut être normale.

Surveillance des traitements au long cours par antipaludéens de synthèse (APS)

La surveillance ophtalmologique doit rechercher un dysfonctionnement périfovéolaire débutant qui peut se manifester par l'apparition de lignes de confusion selon un axe de type III (bleu-jaune) avec un test désaturé (Cf. article "La vision des couleurs en pratique. Stratégies"). En comparaison avec les résultats des examens pratiqués avant la mise sous traitement et en association avec le relevé

d'un champ visuel des dix degrés centraux, l'apparition de cet axe laisse suspecter un dysfonctionnement du système des cônes S, fragiles lors de toute perturbation rétinienne comme il a été dit et particulièrement en zone périfovéale du fait de leur forte densité dans cette zone¹¹.

Surveillance au cours du diabète

Si la recherche de l'apparition de la rétinopathie diabétique proprement dite repose davantage sur la réalisation de rétinographies faites à intervalles réguliers, pupilles dilatées, l'apparition d'une dyschromatopsie acquise, alors que tous les éléments de l'examen ophtalmologique sont normaux, est un signe crucial à communiquer aux confrères qui ont en charge le traitement du diabète. Cette dyschromatopsie marque souvent le début de la microangiopathie diabétique et peut appeler une modification de la prise en charge générale.

L'aggravation de la dyschromatopsie, accompagnée de signes rétinien débutants, fera porter l'indication d'une angiographie. Par ailleurs, la dyschromatopsie peut gêner l'interprétation des tests de contrôles de la glycémie au cours de l'auto-surveillance s'ils ne sont pas automatisés. Elle est classiquement d'axe de type III (bleu-jaune) au début. Son évolution vers un axe rouge-vert est un signe important d'aggravation, reflet de l'atteinte maculaire parfois encore cliniquement imperceptible. L'étude de la vision des couleurs permet également de faire le diagnostic de neuropathie optique diabétique, pathologie qui n'est pas aussi rare que ce qui est décrit mais qui passe souvent inaperçue.

Surveillance au cours de la prise de l'éthambutol

Il faut impérativement tester la vision des couleurs chez les patients avant leur mise sous traitement puis toutes les quatre semaines durant leur traitement tant une neuropathie optique peut survenir rapidement, avec un retentissement franc sur les résultats du test de la vision des couleurs. Lorsque survient la baisse de l'acuité visuelle, elle signe souvent une neuropathie optique toxique avancée, difficilement réversible, pouvant conduire à la cécité. Une neuropathie optique infraclinique correspond à une atteinte de la voie P puisqu'elle est majoritaire dans le nerf optique. Il s'en suit une altération des processus d'antagonisme rouge/vert avec confusion entre ces deux couleurs et survenue d'un axe de type II. L'apparition d'un tel axe, confirmée la semaine qui suit sa découverte, doit faire interrompre le traitement pour préserver les nerfs optiques et l'acuité visuelle.

Surveillance des neuropathies optiques de la sclérose en plaques

Outre l'aide au diagnostic initial de la neuropathie optique devant une baisse d'acuité visuelle isolée du sujet jeune, l'étude

de la vision des couleurs dans la SEP est souvent un appoint précieux pour les neurologues. Elle permet de juger de l'opportunité du traitement spécifique d'une poussée peu symptomatique. On peut retrouver aussi bien des axes bleu-jaune au tout début que des axes rouge-vert par la suite, le point clef étant de constater la rapidité de survenue et l'importance quantitative de la dyschromatopsie. La réapparition d'une dyschromatopsie importante chez un patient porteur d'une SEP connue et se plaignant de troubles visuels mal définis mais avec une acuité visuelle et un fond d'œil normaux est un argument fort en faveur d'une nouvelle poussée.

Diagnostic différentiel des hérédodégénérescences chorioretiniennes

L'étude de la vision des couleurs dans ce cadre est indispensable. Elle représente une aide au diagnostic de bon nombre de ces pathologies, en particulier les maladies de Stargardt et de Best.

Autres pathologies

Bien d'autres pathologies oculaires et générales peuvent bénéficier de l'étude de la vision des couleurs : vasculopathies rétinienues, séreuse centrale, dégénérescences maculaires liées à l'âge, glaucome, neuropathies optiques, traumatismes... Il conviendra de se reporter à des ouvrages exhaustifs sur le sujet pour davantage de précisions.

Conclusion

Classifier une dyschromatopsie d'axe acquise en type I ou II (confusions liées à l'altération de l'antagonisme rouge/vert ou voie P) ou en type III (confusions liées à l'altération de l'antagonisme bleu/jaune ou voie K) est bien souvent une façon indirecte de relier la dyschromatopsie aux mécanismes de l'atteinte visuelle par la maladie causale. Sa recherche prend tout son intérêt dans la mise en évidence de dysfonctionnements visuels infracliniques, précurseurs d'atteintes plus importantes.

Toutes les pathologies visuelles constituées, avec atteintes de fonctionnement des cônes centraux et de leur système de transmission, ont des retentissements sur les résultats de la vision des couleurs. Dans ce cas, la clinique est parlante et l'étude de la vision des couleurs satisfait à d'autres objectifs : suivi évolutif de certaines pathologies, diagnostic différentiel pour d'autres.

Références

1. Kasuga T, Ozaki H. Interaction between the short-wavelength cone and rod systems in the electroretinogram of the cynomolgus monkey. *Doc Ophthalmol.* 1995-96;91:117-127.
2. Marmor MF, Holder GE, Seeliger MW, Yamamoto S. Standard for clinical electroretinography. *Doc Ophthalmol.* 2004;108:107-114.
3. Rigaudière F. Électrophysiologie et vision des couleurs. In: Leid J coord, Lanthony Ph, Roth A, Vola J, et al. Les dyschromatopsies. *Bulletin des Sociétés d'Ophthalmologie de France*, Rapport annuel;IV-6-5:155-6.
4. Adamian M, Jakobiec FA, Berson EL. Histopathologic and immunohistochemical study of an autopsy eye with X-linked cone degeneration. *Arch Ophthalmol.* 1998;116:100-103.
5. Sharpe LT, Stockman A, Jägle H, Nathans J. Opsin genes, cone photopigments color vision and color blindness. In: Gegenfurtner KR, Sharpe LT. Ed. *Color Vision. From genes to perception.* Cambridge Univ Press, UK;1999.Chap.1-p.3-50.
6. Kohl S, Baumann B, Broghammer M, Jägle H, Sieving P, Kellner U. 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. *Hum Mol Genet.* 2000;9:2107-2116.
7. Kohl S, Marx T, Giddings I, Jägle H, Jacobson SG, Apfelstedt-Sylla E. Total colour blindness is caused by mutations in the gene encoding the alpha-subunit of the cone photoreceptor cGMP-gated cation channel. *Nat Genet.* 1998;19:257-259.
8. Kohl S, Varsanyi R, Antunes GA, Baumann B, Hoyng CB, Jägle H. CNGB3 mutations account for 50% of all cases with autosomal recessive achromatopsia. *Eur J Hum Genet.* 2005;13:302-308.
9. Eiberg H, Kjer B, Kjer P, Rosenberg T. Dominant optic atrophy (OPA1) mapped to chromosome 3q region. I. Linkage analysis. *Hum Mol Genet.* 1994;3:977-980.
10. Zeki S, Marini L. Three cortical stages of colour processing in the human brain. *Brain.* 1998;121:1669-1685.
11. Rigaudière F, Ingster-Moati I, Hache JC, et al. Surveillance ophtalmologique de la prise des antipaludéens de synthèse au long cours : mise au point et conduite à tenir à partir de 2003. *J Fr Ophthalmol.* 2004;27:191-199.

Les tests diagnostiques des dyschromatopsies

Les classifications des dyschromatopsies sont maintenant bien connues.

Pour les dyschromatopsies héréditaires (DH), c'est la génétique qui a guidé et orienté une terminologie aujourd'hui bien établie.

Pour les dyschromatopsies acquises (DA), les concepts sont moins simples. La terminologie participe d'un principe inverse : elle est basée sur la description des troubles plus que sur leurs causes. Cependant, il est tentant de se rattacher aux syndromes héréditaires qui leur "ressemblent" ce qui ne manque pas d'entraîner une certaine ambiguïté qui, en réalité, ne fait que cacher un grand pan de notre ignorance.

Bien que des chevauchements existent entre les deux ensembles, il est important de bien distinguer les tests qui sont conçus pour la détection des dyschromatopsies héréditaires de ceux qui servent à dépister les dyschromatopsies acquises.

Trois principes essentiels doivent prévaloir dans la recherche de toute dyschromatopsie :

- *il est impératif de connaître parfaitement les principes des tests à notre disposition ;*
- *il faut proscrire toute utilisation de batteries de tests prédéfinies ;*
- *il faut mettre en œuvre les tests suivant une stratégie raisonnée.*

Il existe un très grand nombre de tests de vision des couleurs.

Dans le cadre de ce fascicule pratique, seuls les tests diagnostiques d'usage courant en France seront décrits et explicités. Le lecteur pourra se reporter à d'autres ouvrages exhaustifs pour découvrir les tests moins usités.

Trois grandes familles de tests sont utiles en consultation courante :

- *les planches pseudo-isochromatiques (PIC) ;*
- *les tests d'assortiment ;*
- *les anomaloscopes.*

Les deux premières familles représentent l'immense majorité des tests en usage en France. Leur point commun est d'être constituées de couleurs pigmentaires (ce sont des couleurs "peintes" présentées sur un support) et d'être basées sur la mise en évidence de confusions colorées.

La troisième famille est hélas peu courante en France faute d'appareils disponibles mais largement utilisée dans les pays germaniques et anglo-saxons.

À l'inverse des deux premières, cette famille fait appel à des couleurs spectrales : ce sont des "lumières" qui sont présentées et mélangées.

J. Leid

Les planches pseudo-isochromatiques

J. Leid,
Pau

Les planches pseudo-isochromatiques (PIC) sont des tests pigmentaires conçus initialement pour le dépistage des dyschromatopsies héréditaires (DH).

Ces tests sont rapides et faciles à exécuter.

Il sont le plus souvent excellents comme tests de dépistage mais peu performants pour le diagnostic précis des dyschromatopsies.

Leur chef de file est le célèbre test d'Ishihara, connu et utilisé largement dans le monde entier.

Principe

Le principe d'une PIC est de "piéger" le sujet porteur d'une dyschromatopsie identifiée en lui présentant des couleurs dont on sait par avance qu'elles seront confondues.

Une PIC se construit donc à partir d'une dyschromatopsie donnée, bien précise et référencée, dont on connaît parfaitement les conséquences en termes de confusions colorées.

On voit immédiatement que seules les DH peuvent répondre à ces critères.

Utiliser des PIC pour détecter des dyschromatopsies acquises ne peut en conséquence relever que de l'approximation et de l'imprécision.

En pratique, pour élaborer une planche d'épreuve pseudo-isochromatique, il faut :

- présupposer un déficit ;
- connaître les lignes de confusion colorée qui lui sont associées ;
- choisir deux tonalités bien distinctes situées sur ces lignes de confusion ;

- produire un "fond" à partir de pastilles juxtaposées de petite taille ayant toutes la même première tonalité choisie mais de luminosité et de saturation différentes (il faut au moins trois ou quatre "couleurs" de même tonalité) ;
- y intégrer une forme reconnaissable (lettre, chiffre, dessin géométrique ou complexe) et pouvant être nommée sans ambiguïté, constituée de pastilles de la deuxième tonalité choisie en faisant varier, là aussi, la luminosité et la saturation.

Le sujet dyschromate ne doit pas pouvoir reconnaître la forme choisie sur d'autres critères que la tonalité.

Les PIC sont en conséquence des tests que j'appellerai "fermés" car ils ne peuvent révéler que les dyschromatopsies pour lesquelles ils ont été conçus et seulement celles-ci.

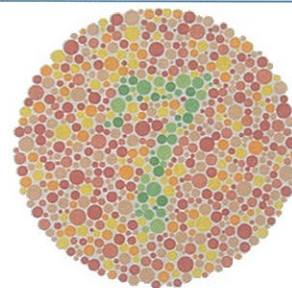
Prenons pour exemples des planches du test d'Ishihara.

La planche n° 15 dans laquelle un trichromate normal peut lire un 7 vert sur fond orangé est conçue pour mettre en évidence une DH d'axe rouge-vert (Fig. 1).

Les tonalités verte et orangée ont été choisies sur une ligne de confusion colorée connue (Fig. 2).

Un sujet dyschromate DOIT confondre ces deux tonalités et sera donc incapable de différencier le chiffre du fond.

Figure 1 - Planche n° 15 du test d'Ishihara.



Un trichromate normal sera capable de lire le 7 dont la "couleur" n'est pas la même que celle du fond.

Un cas particulier consiste à se placer sur une ligne de confusion spéciale qui est l'axe neutre. Sur cette ligne particulière, le dyschromate confond toutes les tonalités de la même façon que sur une autre ligne de confusion mais, de plus, cet axe passant par le blanc, il les perçoit de façon achromatique, c'est-à-dire comme des gris.

On peut ainsi choisir des gris comme fond d'une planche pseudo-isochromatique et placer une forme dont la tonalité est située sur un axe neutre connu. C'est ce qu'a fait Ishihara par exemple sur sa planche n° 23.

Notons que l'inverse aurait pu être fait, à savoir un fond d'une teinte située dans la zone neutre et une forme à reconnaître grise.

L'intérêt du fond gris est que l'on peut, comme a choisi de le faire Ishihara, placer sur la même planche plusieurs motifs de tonalités différentes correspondant à plusieurs axes neutres. On obtient ainsi une planche dite de diagnostic qualitatif qui permet de préciser théoriquement le type de l'axe de la dyschromatopsie.

Ainsi dans la planche n° 23 du test d'Ishihara, le 4 est d'une tonalité située sur l'axe neutre de type protan et le 2 d'une autre tonalité située sur l'axe neutre deutan. Ainsi, là où un sujet normal peut lire 42, un protanope lira 2 et un deutéranope lira 4 (Fig. 3).

Figure 2 - Les couleurs choisies pour la planche n° 15 du test d'Ishihara sont situées sur une ligne de confusion deutan. (En réalité, dans cette région du diagramme de chromaticité, les lignes de confusion protan et deutan sont très voisines de sorte que cette planche ne sera lue ni par les sujets protan ni par les deutan).

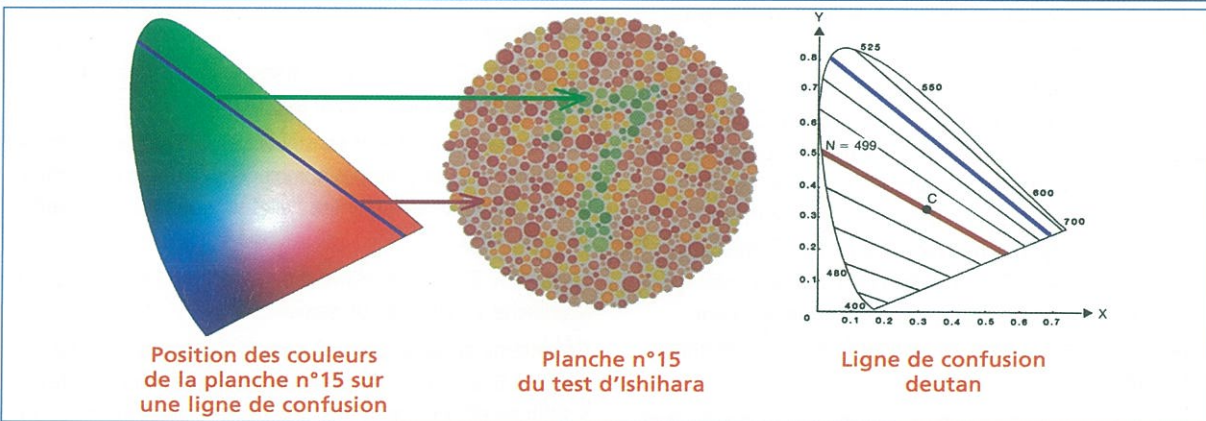
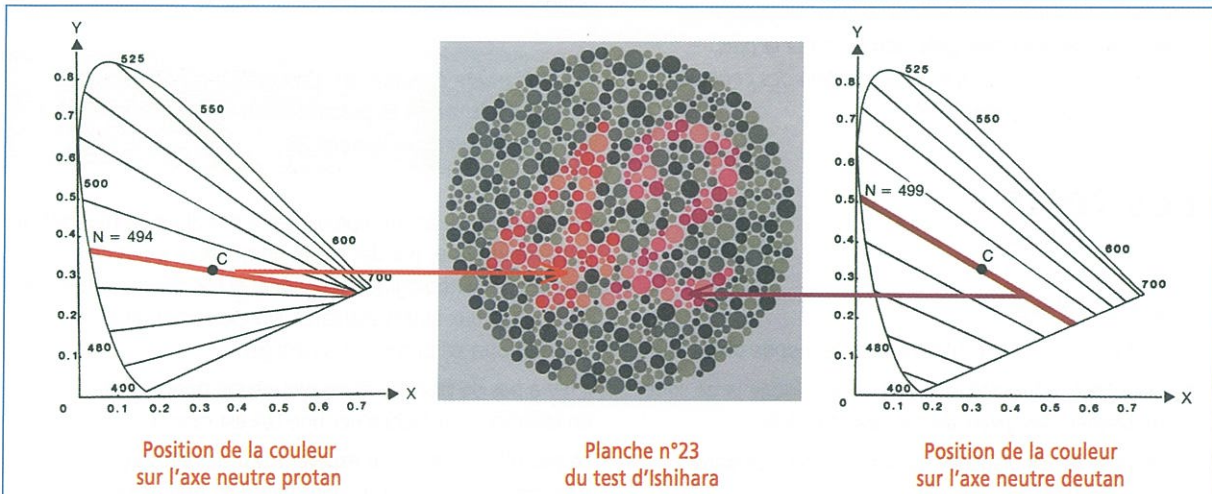


Figure 3 - Les couleurs choisies pour la planche n° 23 du test d'Ishihara sont situées sur les axes neutres protan et deutan permettant théoriquement le diagnostic différentiel entre les deux types d'axe.



Ishihara a volontairement choisi deux tonalités proches pour un trichromate normal afin de sensibiliser davantage le test comparatif protan-deutan et de lui conférer un caractère quantitatif. En pratique, ce caractère n'est pas avéré. Si l'on était sûr que les couleurs soient parfaitement rendues par l'imprimeur et si l'on ne souhaitait diagnostiquer que des altérations profondes de la vision des couleurs, on aurait pu utiliser une tonalité bleu-vert toujours située sur l'axe neutre pour élaborer le 2. L'effet théorique aurait été le même et la lisibilité pour l'expérimentateur plus évidente.

■ Pour aller un peu plus loin

Dans la réalité, les PIC sont parfois de conception un peu plus complexe avec l'introduction d'une troisième couleur qui permet d'élaborer des planches dites de confusion où le sujet dyschromate ne lit pas le même symbole que le sujet normal, voire des planches dites de contre-épreuve où le sujet normal ne voit rien alors que le dyschromate peut retrouver un symbole.

Par ailleurs, la relative proximité des axes de confusion protan et deutan a amené la plupart des auteurs de PIC à proposer des planches d'épreuves seulement sensées dépister une DH d'axe rouge-vert sans pour autant être capables de diagnostiquer avec précision le type d'axe (protan ou deutan). Cela, il faut bien le reconnaître, ne simplifie pas l'interprétation des PIC surtout lorsque l'auteur a mélangé dans son album les axes présumés sans ordre apparent comme c'était le cas dans les *Standard Pseudoisochromatic Plates* (SPP).

Nous avons appris avec le temps l'exigence et la précision et avons oublié les objectifs plus simples que s'étaient fixés les premiers auteurs. Ainsi la première phrase d'introduction du livret explicatif des planches d'Ishihara est la suivante : *"Cette série de planches a été conçue pour permettre de déceler rapidement et avec précision la forme la plus répandue des déficiences dans la perception des couleurs : la dyschromatopsie congénitale"*...

Les tests

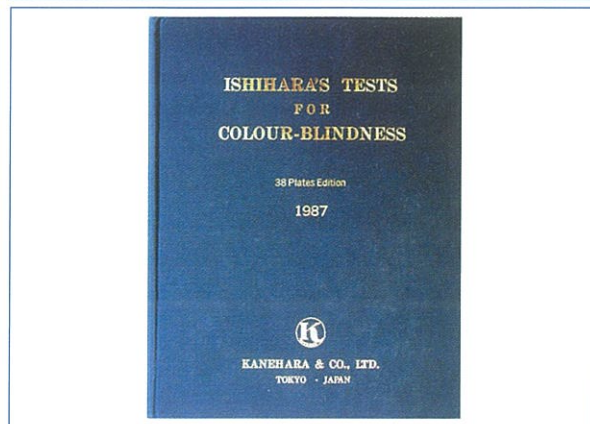
■ Le test d'Ishihara

C'est de loin la PIC la plus utilisée dans le monde (Fig. 4).

Son ancienneté, il fut créé en 1917, et son usage large sont indiscutablement les gages de son grand intérêt.

Il se compose de 38 planches numérotées réunies dans un livre permettant leur présentation rapide.

Figure 4 - Le test d'Ishihara.



La planche 1 sert de démonstration. Elle est lisible par tous les individus. Sa non-lecture signifie que l'on a affaire à un simulateur.

Les planches 2 à 25 sont constituées de 6 séries de 4 planches construites de la même façon et portant 1 ou 2 chiffres.

Les planches 26 à 37 sont constituées de 6 séries de 2 planches construites sur des principes homologues aux planches chiffrées mais présentent des serpents ; elles sont destinées aux illettrés et aux enfants.

La planche 38 est une planche de démonstration analogue à la planche 1 mais avec un serpent.

Ce système de séries permet, dans la plupart des cas, de limiter à 6 le nombre de planches présentées lors d'un test. Il suffit en effet de présenter une planche de démonstration et une planche de chaque série, sachant qu'il n'est pas obligatoire de présenter une planche de la dernière série qui est une planche de contre-épreuve. Ce n'est qu'en cas de doute qu'il faudra présenter davantage de planches.

Un examen standard en procédure rapide pourra donc se limiter à la présentation des planches 1, 2, 6, 10 et 14, éventuellement 22.

Les planches de contre-épreuve sont d'évaluation plus difficile pouvant être lues par des sujets normaux ce qui rend leur lecture pathologique seulement si ces sujets commettent des erreurs aux autres planches. Un expérimentateur moins averti pourra en pratique les négliger.

Il n'y a pas de planche d'axe bleu-jaune dans l'Ishihara. Faire un Ishihara pour rechercher une DA est rarement pertinent.

Le test d'Ishihara est un excellent test de dépistage des DH, c'est pourquoi il est largement utilisé en dehors de

l'ophtalmologie, dans les écoles, les administrations, l'industrie et la médecine du travail.

En première approximation, en tant que test de dépistage, hors du cabinet de l'ophtalmologiste, il est habituel de considérer que l'absence d'erreur à l'Ishihara signifie l'absence de DH. Ce critère est retenu par plusieurs administrations. À l'inverse, il convient de considérer en milieu ophtalmologique qu'une erreur à l'Ishihara, même isolée, est potentiellement et, jusqu'à preuve du contraire, synonyme de la présence d'une dyschromatopsie, même si des études antérieures estiment qu'un sujet normal peut faire jusqu'à deux erreurs.

Concernant l'axe des DH, il peut être affirmé dans 2/3 des cas avec l'Ishihara. Cela en fait un bon test de dépistage mais très insuffisant pour un diagnostic précis.

Il est vain d'espérer quantifier une DH avec ce test.

Les planches 22 à 27 ne peuvent dans le meilleur des cas que donner une idée qui restera toujours à confirmer.

Enfin, au plan quantitatif, la lecture incorrecte de nombreuses planches de l'Ishihara ne signifie nullement que la DH est sévère. On voit fréquemment des trichromates anormaux légers commettre un grand nombre d'erreurs à l'Ishihara.

Points forts

- L'Ishihara est un très bon test de dépistage.
- Une erreur à l'Ishihara doit faire rechercher une dyschromatopsie par d'autres tests.
- L'Ishihara permet un diagnostic fiable des DH, l'axe est trouvé dans 2/3 des cas, il ne faut pas compter sur un diagnostic quantitatif.
- Il n'y a pas de planche d'axe bleu-jaune dans l'Ishihara.

■ Les autres PIC

Elles sont nombreuses et ne nécessitent pas un long paragraphe dans cet opuscule car leur usage est en réalité confidentiel en France. Deux raisons expliquent cela :

- soit elles sont anciennes et ne sont plus rééditées. Elles sont alors le plus souvent en mauvais état et ont perdu largement de leur fiabilité (Polack [France], Fig. 5, version primitive de l'AO-HRR [American Optical – Hardy Rand Rittler, USA], Fig. 6, SPP1 et 2 [Standard Pseudo-isochromatic Plates, Japon], Fig. 7, TMC [Tokyo Medical College, Japon]) ;
- soit elles sont difficiles à se procurer ce qui ne facilite pas leur diffusion dans notre pays (Boström-Kugelberg [Suède], Hahn [Corée du Sud], Okhuma [Japon], nouvelle version du HRR [USA] ; Yu [Chine], Fig. 8).

Figure 5 - Test de Polack (exemplaire hors d'usage !)
5a - Couverture.
5b - Une planche avec 4 couleurs.

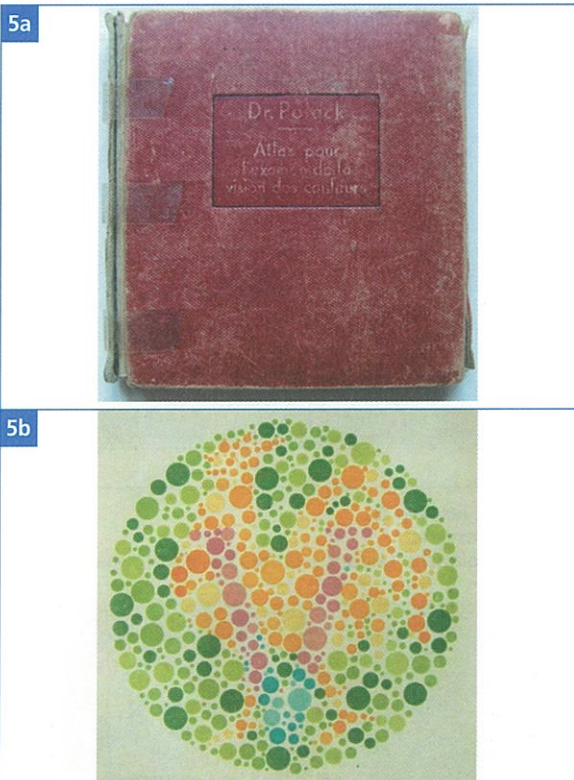


Figure 6 - Une planche de l'AO-HRR pour le diagnostic des axes bleu-jaune.

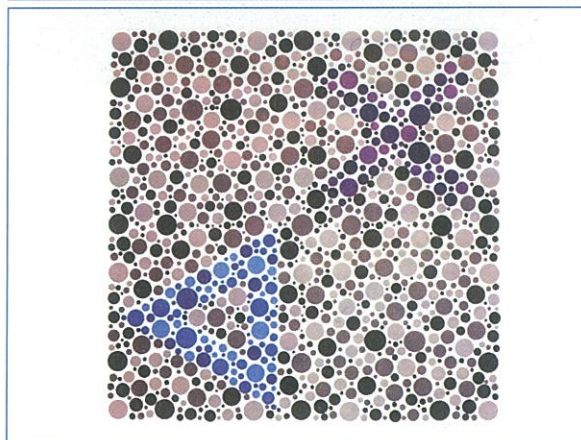


Figure 7 - Planches SPP2.

7a - Couverture.

7b - Une planche (les chiffres sont calqués sur les affichages par diodes électroluminescentes ce qui ne facilite pas la reconnaissance par les sujets les plus âgés). Ce test est particulièrement difficile.

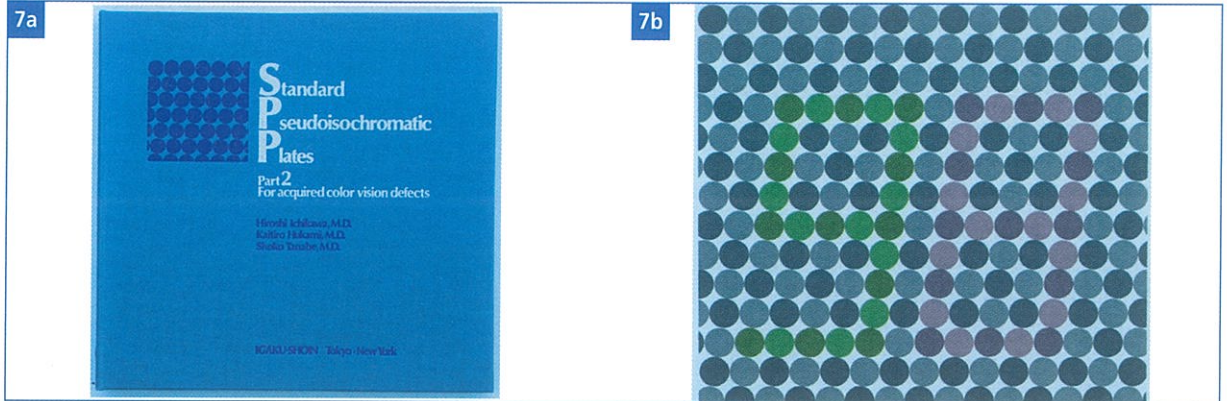
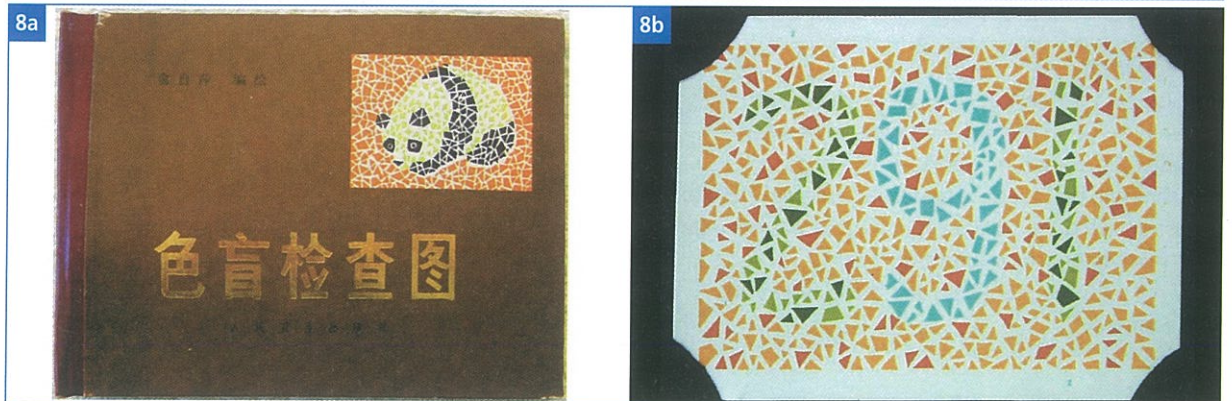


Figure 8 - Test de Yu

8a - Couverture.

8b - Une planche testant à la fois les axes rouge-vert et bleu-jaune.



Une mention particulière sera faite pour deux tests.

- La dernière version du HRR qui se veut une fidèle copie de l'AO-HRR et dont l'un des objectifs est de quantifier les dyschromatopsies. Il existe également sur cet album des planches permettant de dépister les axes bleu-jaune. Sa valeur qualitative pour les DH est équivalente à celle de l'Ishihara et il peut avoir un petit intérêt dans le dépistage simple des DA.
- L'album tritan de Lanthony. Le symbole à trouver est un petit carré situé dans l'un des 4 angles d'un carré plus grand (Fig. 9). Seul l'axe tritan est recherché. L'objectif de l'album est de quantifier les dyschromatopsies d'axe bleu-jaune par référence à la zone neutre de la tritanopie. Les différentes études montrent que ce test peut avoir

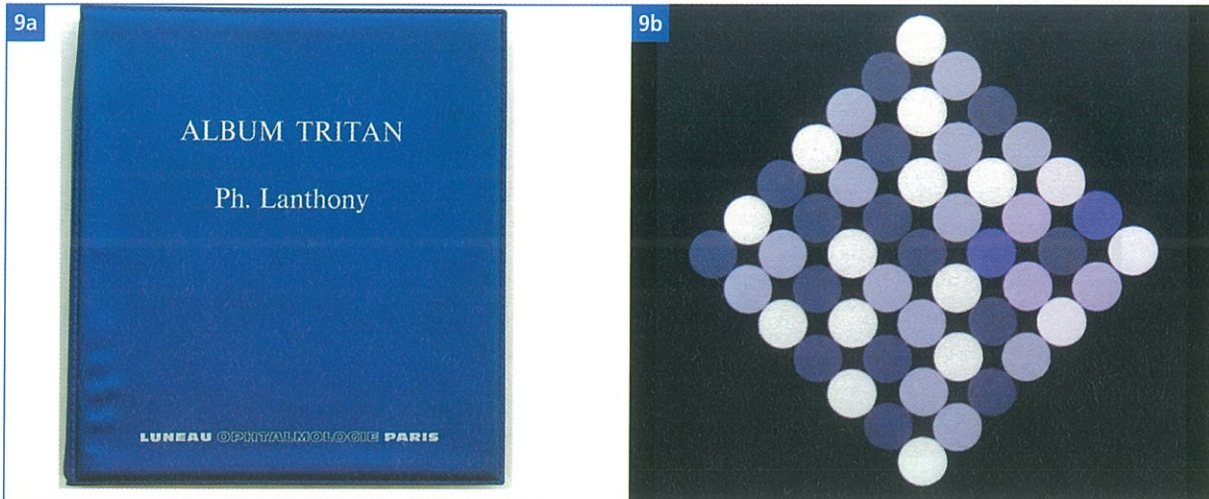
un intérêt de simple dépistage des DA d'axe bleu-jaune (à la condition que leur zone neutre couvre la zone neutre de la tritanopie) mais qu'il n'a pas de valeur quantitative réelle.

Les PIC spécifiques pour les enfants seront abordées dans l'article "Tests particuliers" p. 59.

Figure 9 - Album Tritan de Lanthony.

9a - Couverture.

9b - Une planche. La saturation de la couleur à mettre en évidence varie selon les planches.



■ Le City University Colour Vision Test (CUCVT)

Le *City University Colour Vision Test** doit être évoqué à part car il n'est pas une PIC mais sa présentation en un album lui en confère l'apparence. Il est intermédiaire entre une PIC (on y recherche d'une certaine manière des confusions colorées prédéterminées sous forme de choix forcé) et un test de classement (les couleurs utilisées sont proches de celles du Panel D15 que nous verrons au chapitre suivant).

La 3^e édition de ce test est actuellement disponible en France. Elle est plus élaborée que les précédentes, comprenant une partie de dépistage dont l'efficacité est comparable à celles des PIC et une deuxième partie de diagnostic qui s'avère d'efficacité plus réduite (Fig. 10).

Ce test est peu usité en France mais peut avoir sa place pour le dépistage des DH et de certaines DA dans la mesure où il possède des planches d'axe bleu-jaune.

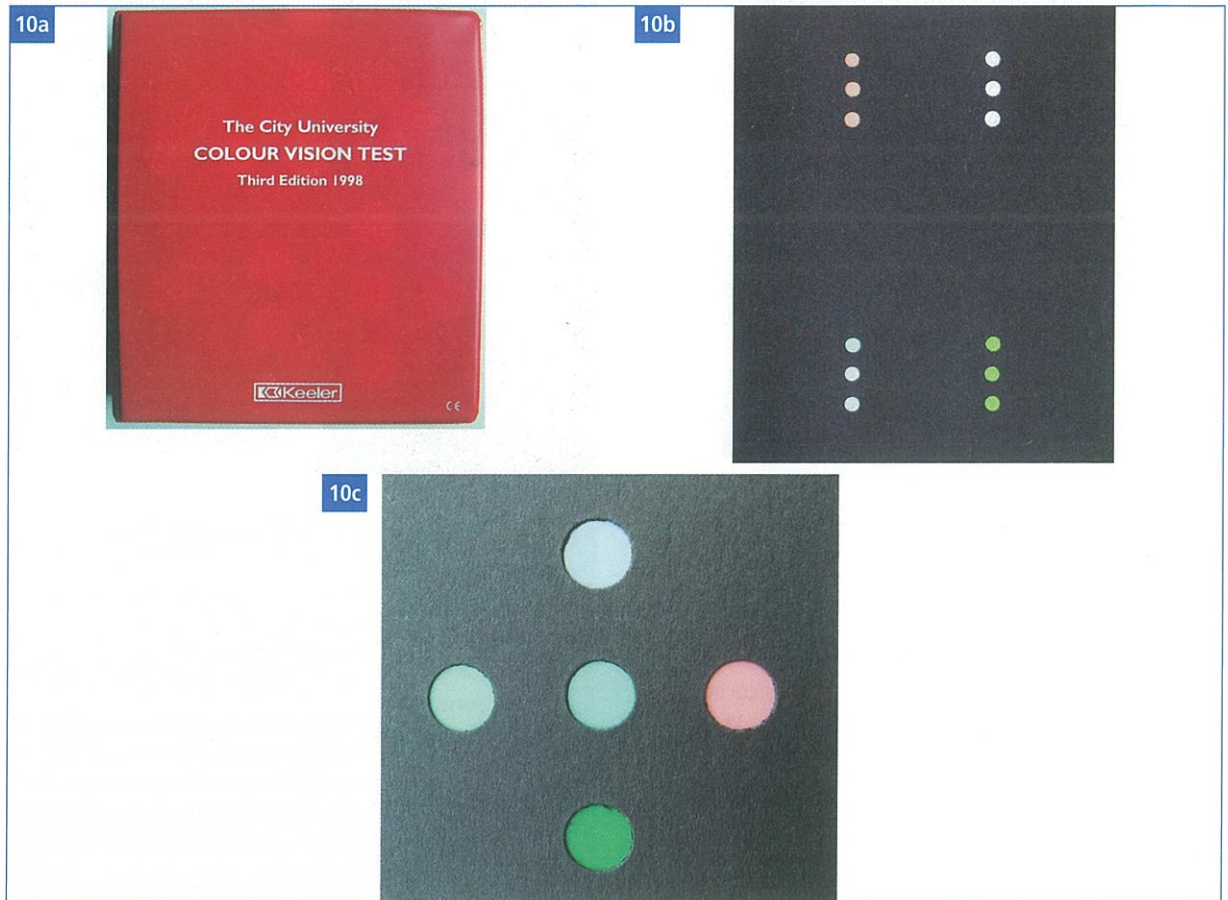
* Les PIC sont disponibles chez la plupart des distributeurs de matériel ophtalmologique.

Le CUCVT est édité par la maison Keeler à Londres.

Points forts

- Les PIC sont de bons tests pour dépister les DH surtout en dépistage de masse.
- L'intérêt des PIC dans les DA est voisin de zéro pour l'ophtalmologiste.
- Les PIC sont très rarement capables de séparer les dichromates des trichromates anormaux.
- En pratique, on a presque toujours intérêt à faire un test d'Ishihara pour commencer une étude de la vision des couleurs soit pour avancer dans le diagnostic d'une DH, soit pour éliminer une DH avant de rechercher une DA.
- Les PIC sont des tests "fermés".

Figure 10 - City University Colour Vision Test.
10a - Couverture.
10b - Planche de dépistage.
10c - Planche de diagnostic.



Les tests de classement : principes. Le Panel D15

J. Leid,
Pau

Les tests de classement ou d'assortiment sont des tests pigmentaires de confusion dont l'objectif principal est la mise en évidence directe des axes de confusion colorée. Ils consistent en la classification de pions colorés numérotés au dos et rangés dans des plumiers puis le report des résultats sur des schémas préétablis permettant la visualisation directe des axes de confusion. Ces tests qui vont du plus simple au plus compliqué ont été primitivement créés pour le dépistage des dyschromatopsies héréditaires (DH) puis ont évolué jusqu'à la création de tests spécifiques pour le dépistage des dyschromatopsies acquises (DA).

Ce sont les tests de vision des couleurs les plus utilisés par les ophtalmologistes en France.

Les tests de classement peuvent être qualifiés de tests "ouverts" dans la mesure où ils sont théoriquement capables de mettre en évidence tout type de dyschromatopsie.

Ils s'opposent en cela aux tests pseudo-isochromatiques, tests "fermés" dont chaque planche permet de révéler uniquement la dyschromatopsie pour laquelle elle a été conçue.

Leur chef de file reste le 15 hue de Farnsworth bien qu'il soit l'un des plus anciens.

Avant d'aborder ces tests, il est nécessaire de présenter le système de classement des couleurs dont sont issus les pions qui les composent.

L'album de Munsell

Les couleurs des pions des tests de classement d'usage courant sont issues de l'album de couleurs de Munsell. Il a été créé par le peintre américain Albert Munsell en 1909. C'est un système de classement et de dénomination des couleurs basé sur la notion d'égalité des intervalles sensoriels entre couleurs voisines ou principe d'équidistance sensorielle.

Chaque couleur est identifiée par un système tridimensionnel spécifique :

- "hue" qui correspond à la tonalité. Il existe 10 "hue" comportant chacune 10 échelons ;
- "value" correspondant à la luminosité évoluant en 10 échelons du noir (0) au blanc (10) ;
- "chroma" correspondant à la saturation depuis l'achromie (le gris) noté 0 jusqu'au chiffre correspondant à la pureté parfaite de la couleur, variable suivant la tonalité.

Une couleur est ainsi notée suivant la formule générique *hue value/chroma* ; par exemple 4G 8/6 est un vert G (comme green) d'intensité 4, de valeur 8 (donc très lumineux) et de saturation 6 (degré de saturation intermédiaire).

Chacun des échantillons possède une différence sensorielle identique avec les échantillons adjacents dans chacune de ces trois dimensions. On peut visualiser ce système par la représentation du solide de Munsell (Fig. 1).

En pratique on utilise des échantillons correspondant à ces couleurs et contenus soit dans les planches d'un atlas en deux dimensions (Fig. 2), soit dans un coffret qui isole chaque échantillon (Fig. 3).

Figure 1 - Le solide de Munsell.
1a - Disposition réelle des couleurs.
1b - Diagramme du système d'ordre et de notation.

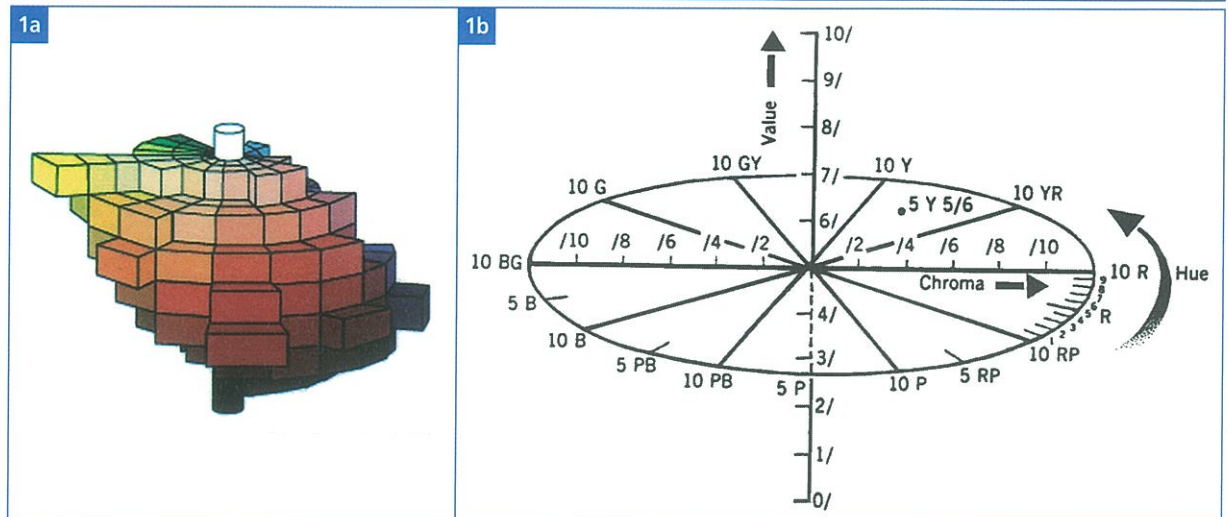


Figure 2 - L'atlas de Munsell.
Une page montrant les variations de *value* et de *chroma* à hue constante. La *value* varie verticalement et la *chroma* horizontalement. Deux échantillons contigus ont partout dans la page la même différence sensorielle.

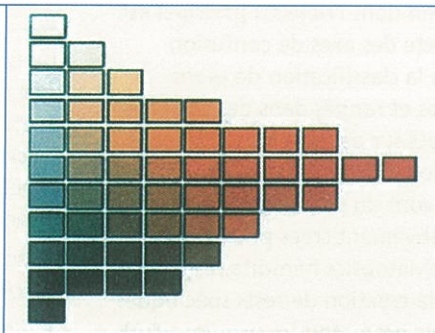


Figure 3 - Le coffret d'échantillons Munsell (il n'a d'usage que pour les travaux de recherche).
3a - Le coffret.
3b - Un échantillon isolé : le 2.5R 6/12.

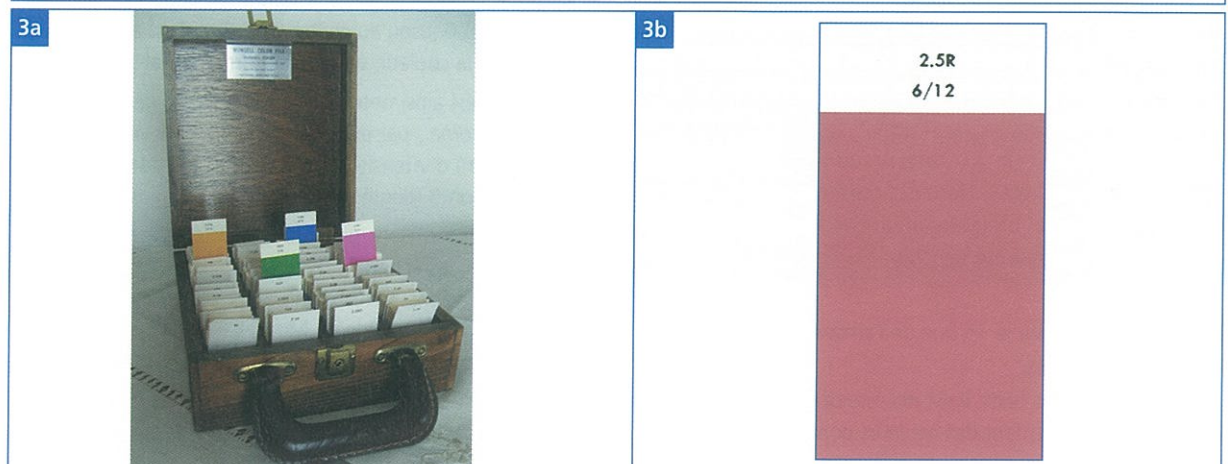
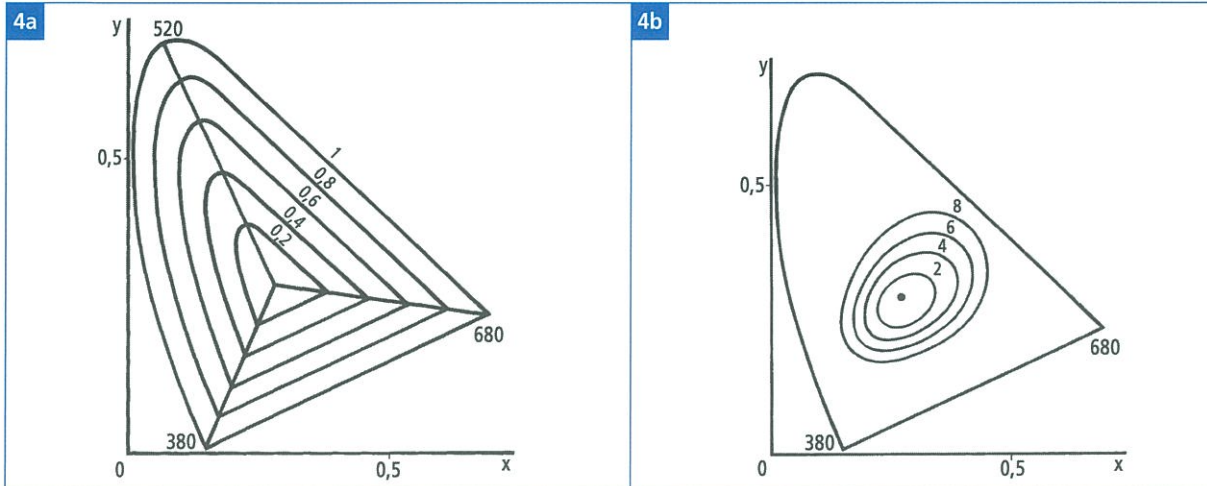


Figure 4 - Situation des couleurs Munsell dans le diagramme de chromaticité (d'après Lanthony).

4a - Courbes d'égale saturation (luminosité constante, tonalité variable). Le diagramme de chromaticité est l'enveloppe externe (la plus grande). C'est le "triangle des couleurs". Il correspond aux couleurs spectrales réunies en bas par la ligne des pourpres. Ces couleurs ont une saturation maximale. Lorsque la saturation diminue, le lieu des couleurs est homothétique (sur un "triangle des couleurs" plus petit). Plus les couleurs sont désaturées, plus les "triangles" sont petits et proches du blanc.

4b - Courbes d'égale *chroma* (value constante, hue variable). On voit bien ici que la "*chroma*" n'est pas la saturation. Les courbes d'égales *chroma* ne sont pas des triangles mais des ellipses qui se rapprochent du blanc.

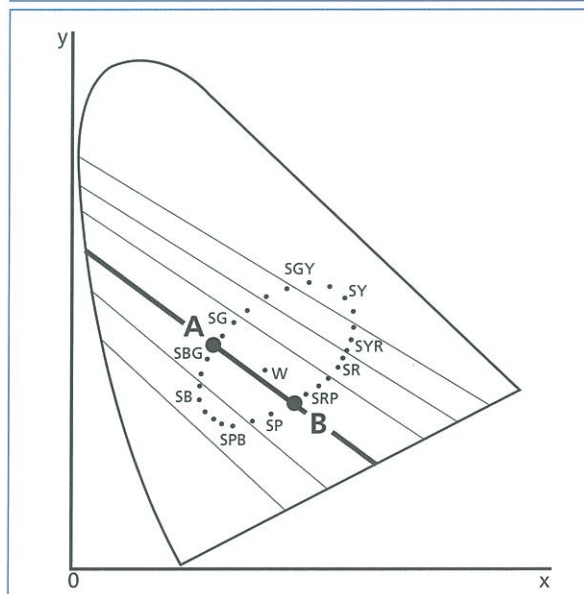


Le positionnement des échantillons Munsell à *chroma* constante dans le triangle des couleurs de la CIE, actuellement dénommé comme à son origine (1931) "diagramme de chromaticité", n'est pas situé sur une enveloppe homothétique de ce diagramme ayant pour centre le "blanc" et un rapport opposé à la saturation. Cela est lié au fait que le diagramme de chromaticité n'est pas un espace d'uniformité visuelle constante (la place des verts y est par exemple fortement majorée). Ainsi pour une *value* constante, les *hue* de même *chroma* sont situées sur une ellipse entourant le "blanc" (Fig. 4).

La superposition des lignes de confusion colorée des dyschromatopsies et de l'emplacement des couleurs d'un test de classement issues de l'album de Munsell dans le diagramme de chromaticité permet de comprendre le principe de ces tests de classement (Fig. 5).

Figure 5 - Superposition des lignes de confusion d'une dyschromatopsie et d'une ellipse de couleurs Munsell à *chroma* constante (d'après Lanthony).

Cette ellipse pourrait être le lieu des pions d'un test d'assortiment. On comprend facilement que deux pions de couleurs différentes A et B mais placés sur une même ligne de confusion pourront être perçus comme ayant des couleurs identiques par un dyschromate et donc confondus.



Le 15 hue de Farnsworth ou Panel D15

■ Principe

Le test 15 hue de Farnsworth (encore appelé Panel D15, 15 hue, D15 standard) a été conçu en 1947, après le 100 hue qui a ouvert la voie aux tests de classement en 1943.

Le principe des deux tests est cependant très différent et il est totalement faux d'imaginer que le 15 hue n'est qu'un 100 hue condensé dont on aurait pris un pion sur 6.

Le principe fondamental du 15 hue est la mise en évidence directe des lignes de confusion colorée permettant de déterminer à la fois l'existence d'une dyschromatopsie, son axe et, dans une certaine mesure, de la quantifier.

L'objectif initial était de séparer dichotomiquement les sujets dichromates des trichromates anormaux dans un but d'aptitude ergonomique.

Pour cela le concepteur a décidé de présenter un échantillonnage de 15 pions colorés répartis tout au long du spectre et de les faire classer de façon ouverte par le sujet testé de sorte à ce que les confusions colorées apparaissent naturellement si le sujet est dyschromate.

Les pions sont issus de l'album de Munsell et sont de *chroma* 4 et de *value* 5. Ce sont donc des couleurs franches bien saturées.

La compréhension du principe du test est immédiate si l'on positionne ses pions dans le diagramme de chromaticité (Fig. 6).

À *chroma* constante, leur lieu géométrique est situé sur une ellipse entourant le blanc.

La superposition des lignes de confusion colorée connues des DH sur le diagramme de chromaticité permet immédiatement de voir quels pions seront confondus par chaque type de dyschromate (Fig. 6).

Il suffit alors de reporter les résultats de l'ordre des pions donné par le sujet testé sur un schéma préétabli pour voir apparaître les lignes de confusion et en dégager la direction de l'axe de confusion. Afin de faciliter l'interprétation, le schéma préétabli mentionne déjà la direction des axes des DH (Fig. 7).

L'aspect quantitatif est déduit du nombre de droites de confusion relevé sur le schéma du patient.

Figure 6 - Position des pions du D15 dans le triangle de la CIE.

6a - Lieu réel des pions et rappel des axes de confusion (d'après Lanthony).

6b - Pour mémoire, rappel des axes de confusion deutan (b1) et tritan (b2) dans le triangle de la CIE.

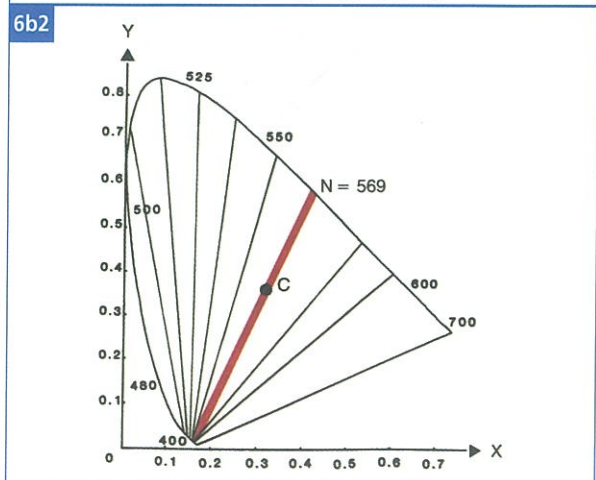
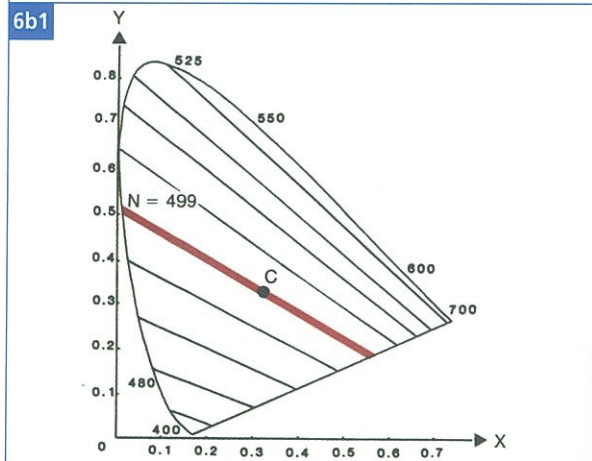
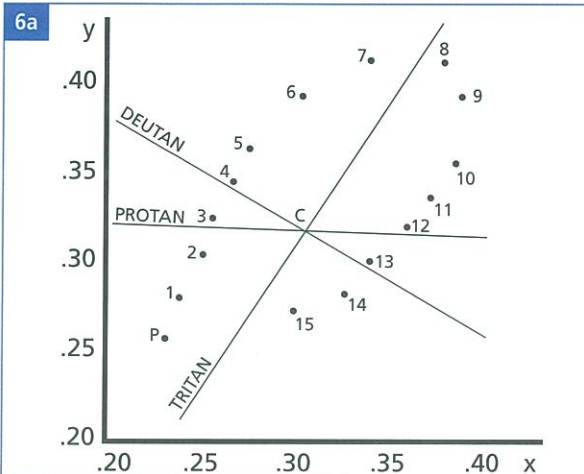


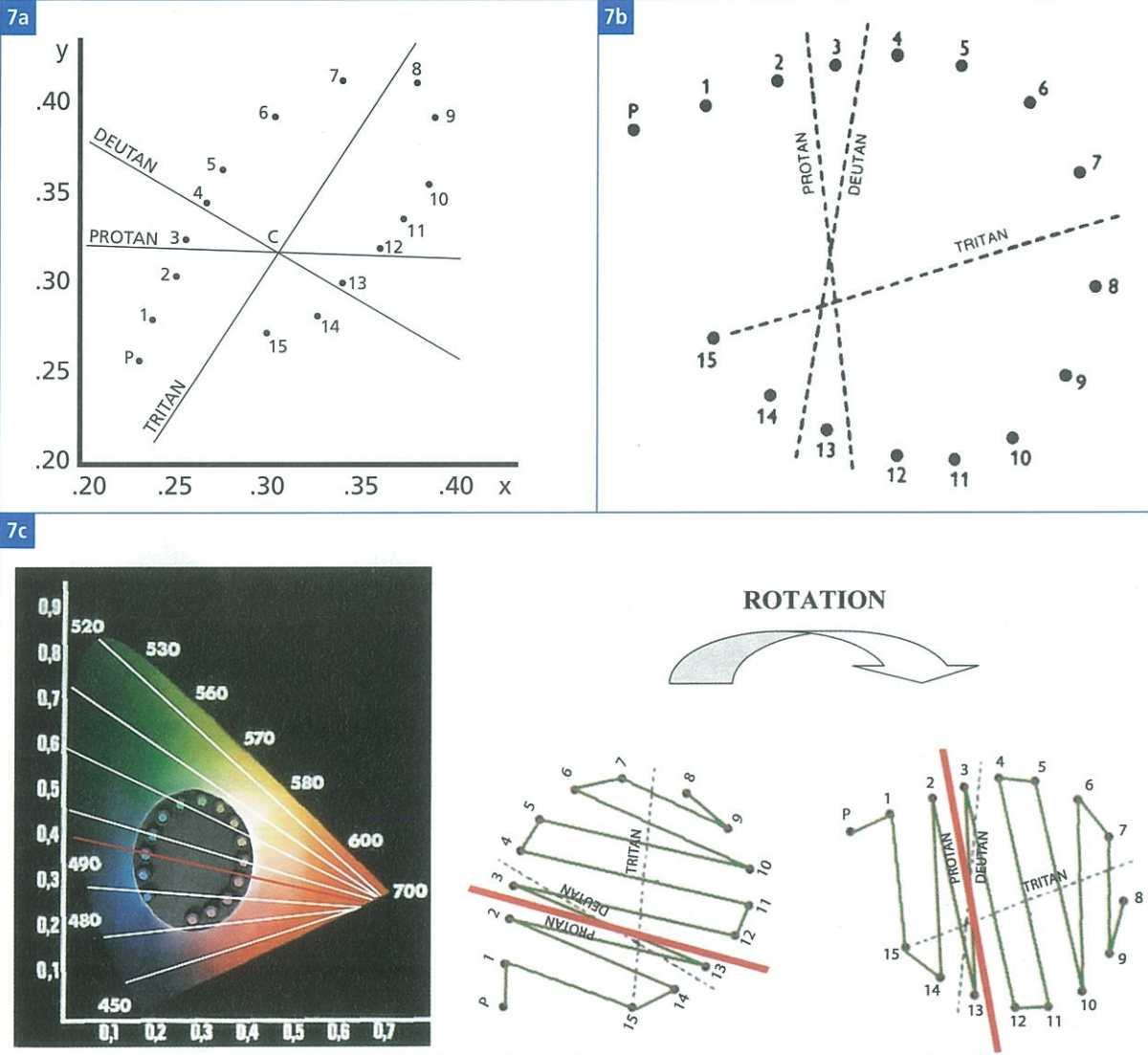
Figure 7 - Schéma de résultats du Panel D15.

Le lieu des pions sur le schéma modifie leur disposition réelle (rotation et écartement) afin de faciliter la lecture au prix cependant d'une certaine approximation.

7a - Lieu réel des pions dans le triangle de la CIE (d'après Lanthony).

7b - Disposition des pions sur le schéma de résultats.

7c - Principe de la transformation.



■ Le test

Description

Il comporte 16 pions répartis dans un plumier. L'un des pions est fixé dans la gorge du plumier et sert de pion de référence, les 15 autres sont libres et doivent être classés par le sujet testé (Fig. 8). Ces pions portent un numéro de repérage au dos qui permettra à la fin du test de reporter le choix du patient sur le schéma préétabli (Fig. 9).

Les pions sont classés dans le plumier de sorte qu'en fin de choix un simple retournement permette de visualiser les numéros au dos de chaque pion et d'établir le schéma pour l'interprétation (Fig. 10).

Figure 8 - Le Panel D15.

8a - Plumier fermé.

8b - Plumier ouvert. On note la présence d'un premier pion (bleu) fixé au plumier. Les autres pions sont mobiles



Figure 9 - Un pion du 15 hue de Farnsworth.

9a - Recto.

9b - Verso.

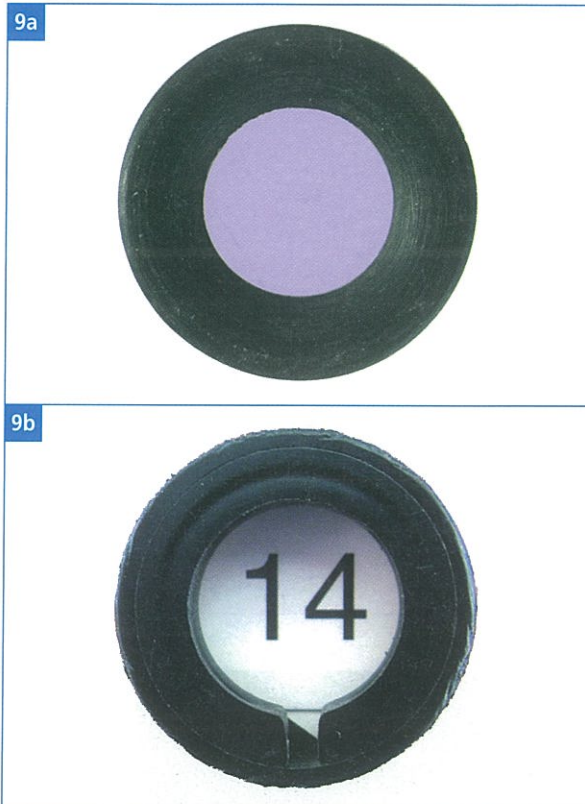
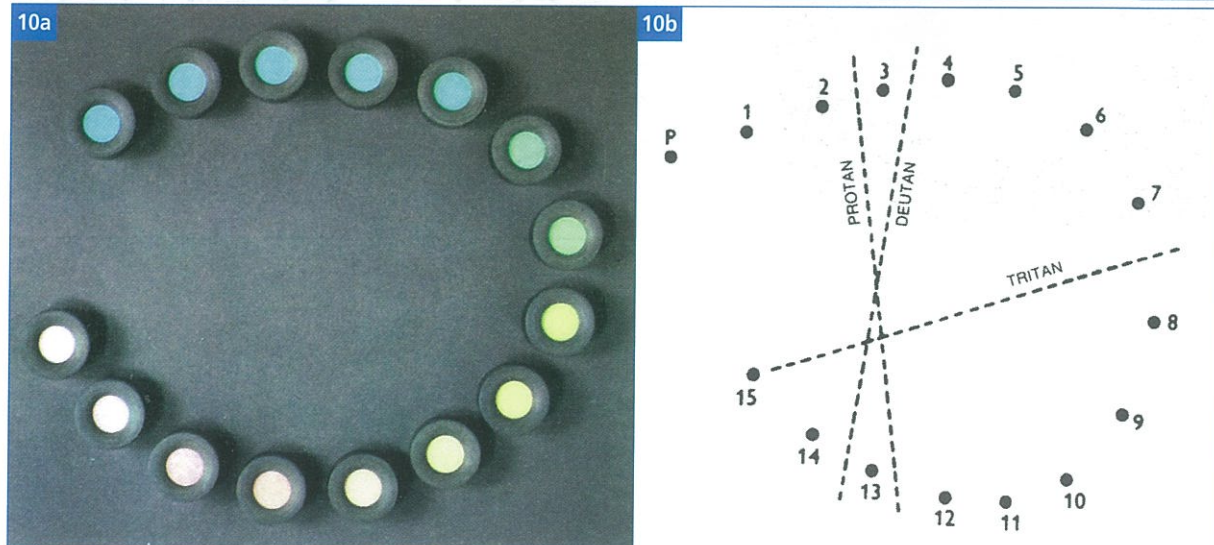


Figure 10 - Schéma de résultat du D15.

10a - Les pions du D15 rangés comme sur le schéma de résultat (seuls les pions libres sont classés).

10b - Le schéma de résultat avec les axes de confusion préindiqués.



Passation

L'instruction fournie par l'examineur doit être simple, précise et univoque. Il doit étaler les 15 pions libres sur la table d'examen dans un ordre aléatoire et demander au patient de placer dans le plumier à côté du pion de référence "celui qui lui ressemble le plus". Aucun autre type d'instruction ne doit être utilisé, notamment il faut impérativement éviter de prononcer les termes de "classement" ou de "couleur". Ces termes seraient en effet extrêmement trompeurs pour un dyschromate car leur sens serait différent de celui utilisé par l'examineur.

Une fois le premier pion libre posé dans le plumier, l'examineur doit le pointer du doigt en disant : "considérez maintenant ce pion et placez à côté de lui celui qui lui ressemble le plus". Une fois les deux premiers pions placés suivant ces instructions, il suffit de faire continuer le test de la même façon.

Le test doit être effectué dans un temps suffisamment court de l'ordre de 3 minutes sous un bon illuminant (voir article sur les conditions d'examen) et sous surveillance stricte de l'examineur qui veillera à ce que les instructions soient parfaitement suivies.

Il ne faut pas laisser le sujet testé "corriger" ses fautes à l'infini. Les choix doivent être francs et rapides.

Une fois les 15 pions classés, l'examineur retourne le plumier et reporte l'ordre des pions sur le schéma d'interprétation en traçant consécutivement les segments de droite qui relient les numéros successifs des pions classés. La ou les droites de confusion, si elles existent, apparaissent ainsi spontanément, permettant la définition du ou des axes de confusion.

Interprétation

On peut se référer à la plaquette livrée avec le test pour interpréter le 15 hue.

Les suggestions qui sont faites ici sont légèrement différentes et sont le fruit de l'expérience de l'auteur qui en prend l'entière responsabilité.

Normalité

Nous estimons qu'un test de 15 hue (Panel D15 standard), pratiqué dans des conditions rigoureuses (décrites dans l'article sur les conditions d'examen), ne peut être considéré comme normal que si les 15 pions sont rangés dans leur ordre strictement exact. Toute erreur, si minime soit-elle, doit faire suspecter une dyschromatopsie et doit imposer la pratique d'un test complémentaire.

Axes de confusion

Les axes de confusion protan et deutan sont proches l'un de l'autre rendant souvent l'interprétation difficile (Fig. 11). En cas de doute, il faut utiliser un autre test.

L'axe de confusion tritan (tritanopie héréditaire) est quasiment anecdotique car cette dyschromatopsie est rarissime. Sa direction est plutôt utilisée pour diagnostiquer les DA (Fig. 12).

Bien qu'elle ne soit pas indiquée sur les schémas d'origine, il est utile de connaître la direction de l'axe dit "scotopique" qui est celle des confusions des sujets achromates (Fig. 13).

Figure 11 - Ce schéma de résultats montre 4 droites de confusion selon la direction d'un axe protan et 3 droites de confusion selon la direction d'un axe deutan, rendant impossible le diagnostic différentiel entre une déficience de type protan ou deutan (protanomalie ou deutéranomalie en l'occurrence). Dans le cadre d'une DH on peut seulement dire qu'il s'agit d'un trichromatisme anormal.

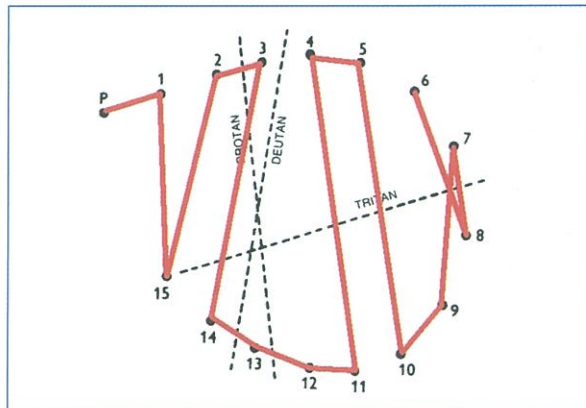


Figure 12 - Dyschromatopsie acquise d'axe bleu-jaune de type tritan (type III de Verriest). Ce type de DA est en fait assez rare. On trouve le plus souvent des axes tétartan peu visibles aux tests saturés.

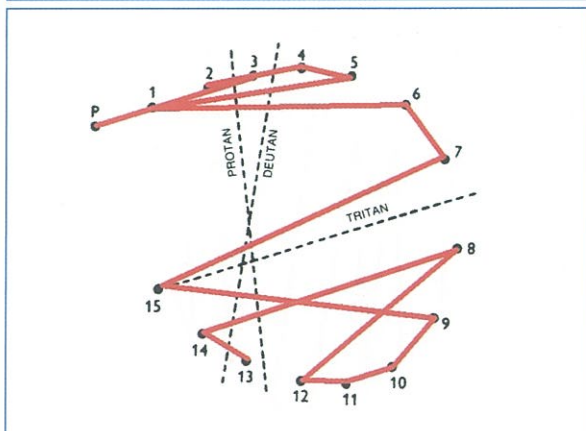
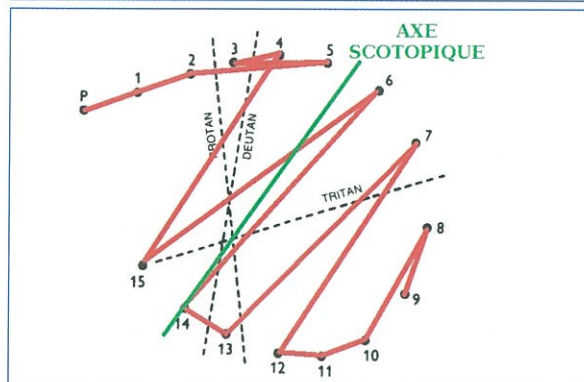


Figure 13 - Achromatopsie héréditaire (axe scotopique). Cet axe n'est pas mentionné sur les schémas du Panel D15.



Séparation entre dichromates et trichromates

Elle ne peut être absolue avec ce type de test mais elle est très souvent possible.

Théoriquement les dichromates ne peuvent pas classer correctement plus de 2 pions du D15 consécutivement. Le nombre de droites de confusion de même direction doit être au moins de 7 pour que l'on puisse parler de dichromatisme (Fig. 14).

Quantification des trichromatismes anormaux

On peut approximativement quantifier les trichromatismes anormaux avec le Panel D15 en fonction du nombre relevé de droites de même direction. On utilise une terminologie à 2 ou 3 niveaux de quantification suivant son habitude à interpréter le test : pour 3 niveaux de gravité par exemple : "léger, moyen et sévère" et pour 2 niveaux par exemple : "modéré et important" (Fig. 15).

Figure 14 - Séparation entre les dichromates et les trichromates anormaux au Panel D15.

14a - Protanopie : il y a plus de 7 droites de confusion selon la direction d'un axe protan, il n'y a pas de continuité normale sur 3 points.

14b - Protanomalie : moins de 7 droites de confusion selon la direction d'un axe protan, plusieurs continuités normales sur 3 points.

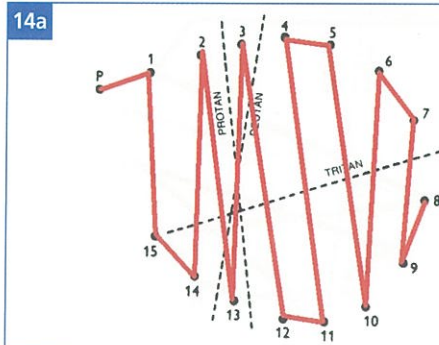
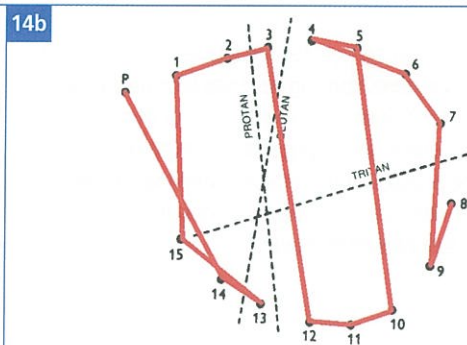
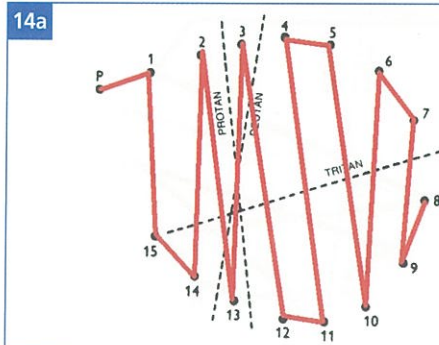
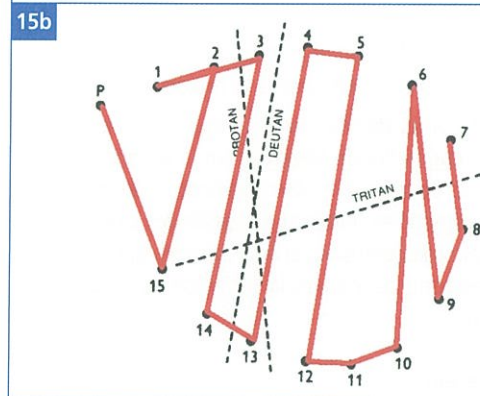
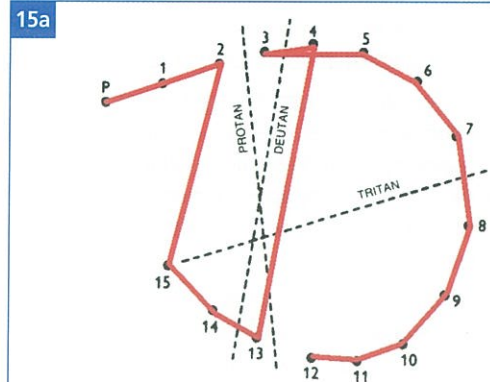


Figure 15 - Quantification des trichromatismes anormaux.

15a - Deutéranomalie légère (il n'y a que deux droites de confusion selon un axe deutan).
15b - Deutéranomalie sévère. Ce n'est pas une deutéranopie car il y a moins de 7 droites de confusion selon un axe deutan et on retrouve une suite normale continue dans le classement de 3 pions successifs (12-11-10).



Bien souvent il faudra s'aider d'autres tests pour quantifier les trichromatismes anormaux. Nous en donnerons les clefs dans le chapitre développant les stratégies.

Les simples erreurs de proximité (inversions simples) n'ont pas de signification particulière dans le Panel D15 sinon qu'elles traduisent une anomalie probable.

Nous ne trouvons pas un grand intérêt aux méthodes permettant d'établir un score d'erreurs pour ce test.

■ Intérêt du D15 standard

Le D15 standard est un test simple, facile à mettre en œuvre, rapide et ouvert.

Il peut être utilisé même avec une acuité visuelle faible de l'ordre de 1/10 à condition qu'il n'y ait pas de scotome central.

Le test est très efficace pour séparer les trichromates normaux (c'est-à-dire les sujets normaux) des dichromates. Il atteint également son objectif en séparant assez bien les trichromates anormaux des dichromates.

En revanche, il est parfois insuffisant pour mettre en évidence des trichromates anormaux légers qui peuvent effectuer le test sans faute. Il faut savoir rester vigilant.

Il peut être également difficile, avec ce seul test, de quantifier un trichromatisme anormal. D'autres tests doivent alors lui être associés.

Le diagnostic du type d'axe protan ou deutan est souvent possible mais pas de façon constante. Lorsque l'axe peut être déterminé, il est le plus souvent juste (vérifié par anomaloscope).

Le D15 trouve son intérêt premier dans la détection des DH sévères.

Il est cependant utilisable dans les DA puisqu'il s'agit d'un test ouvert mais essentiellement dans le cas d'atteintes évoluées, en étant conscient cependant que très peu de DA d'axe bleu-jaune seront détectées. Cela tient à deux facteurs : d'une part le test est trop saturé pour détecter les DA débutantes, d'autre part, par sa conception même et en l'occurrence la position de ses pions, il exclut pratiquement les confusions selon l'axe tritan. L'axe tritan indiqué sur les schémas est d'ailleurs légèrement inexact dans sa direction.

Le D15 n'a véritablement d'intérêt dans les DA que pour la détection des axes acquis de type rouge-vert (types I et II de Verriest) et des dyschromatopsies acquises très évoluées.

Points forts

- Très bon test pour la détection des DH sévères.
- À utiliser d'emblée après un Ishihara anormal pour préciser la nature et le degré de l'atteinte.
- Utile pour les DA seulement si elles sont d'axe rouge-vert ou très sévères.
- Toute erreur au D15 doit faire suspecter une dyschromatopsie.

Les tests de classement désaturés

J. Leid,
Pau

Ce sont historiquement les dyschromatopsies héréditaires (DH) qui ont été les premières découvertes et étudiées. Il est donc logique de constater que les premiers tests cliniques de vision des couleurs ont été conçus pour les détecter.

Les dyschromatopsies acquises (DA) ont intéressé les chercheurs plus tardivement et leur étude est longtemps restée anecdotique ne serait-ce que parce que les tests qui existaient étaient peu adaptés à leur diagnostic. Il revient incontestablement à Philippe Lanthony le mérite d'avoir su proposer et imposer un test particulièrement conçu pour la détection des DA. Il s'est appuyé pour cela sur cette propriété capitale des DA débutantes d'être présentes lorsque les couleurs sont fortement désaturées. Lanthony a donc conçu un test identique au 15 hue de Farnsworth mais avec des couleurs désaturées.

La démarche était d'une simplicité désarmante, c'est ce qui en a fait le génie. En quelques années, le D15 désaturé (ou Panel D15 désaturé ou 15 hue désaturé, ou D15D), largement connu sous le nom de "test de Lanthony", s'est imposé comme le standard dans la recherche des DA, finissant par supplanter le pourtant très emblématique 100 hue, même dans les pays anglo-saxons.

Le Panel D15 désaturé de Lanthony

Ce test a été présenté en 1973 dans une publication princeps coignée du Professeur Dubois-Poulsen qui a été l'un des

ophtalmologistes français les plus impliqués dans l'histoire des DA au milieu du XX^e siècle.

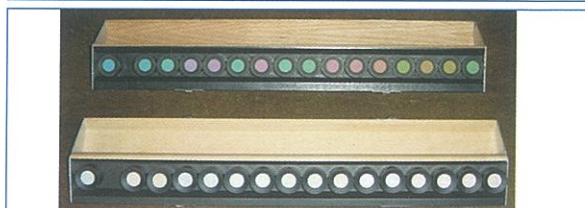
■ Principe

L'idée est de sensibiliser le test de 15 hue standard pour lui permettre de dépister les DA débutantes dont on sait qu'elles sont détectables pour les couleurs peu saturées et lumineuses dont elles modifient rapidement la perception.

Le principe du test est rigoureusement identique à celui du test saturé dont il est issu : il permet la mise en évidence directe des axes de confusion colorée par le classement de 15 pions à la suite d'un pion de référence fixé dans un plumier, dans les mêmes conditions que pour le 15 hue de Farnsworth.

La seule différence réside dans le choix des couleurs des pions. Non point pour les *hue* qui sont les mêmes mais pour la *value* et la *chroma* (les pions sont donc de même tonalité mais de luminosité et de saturation différentes). Ainsi les pions sont respectivement de *value* 5 et de *chroma* 4 pour le 15 hue de Farnsworth mais de *value* 8 et de *chroma* 2 pour le test désaturé de Lanthony. Les pions de ce test "désaturé" sont donc non seulement moins saturés que ceux du D15 standard mais également plus lumineux (Fig. 1).

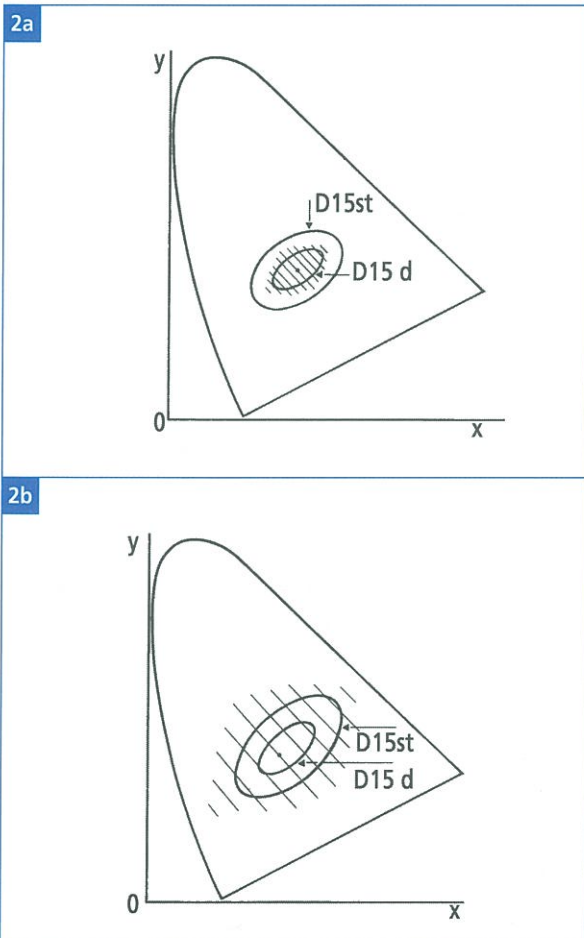
Figure 1 - Les Panel D15 standard (en haut) et désaturé (en bas).



Il en résulte que le classement des pions de ce test est bien plus difficile que celui des pions du 15 hue et que son éclairage doit être suffisant, notamment pour les patients ayant dépassé la cinquantaine.

L'intérêt du test désaturé par rapport au test standard devient évident si l'on trace dans le diagramme de chromaticité à la fois la position des pions des deux tests et les lignes de confusion colorée. Ces figures, certes schématiques pour être didactiques, ont été à l'origine présentées par Lanthony (Fig. 2).

Figure 2 - Les Panel D15 dans le triangle des couleurs.
2a - DA débutante : les lignes de confusion ne sont mises en évidence qu'avec le D15 désaturé.
2b - DA plus évoluée : les lignes de confusions sont visibles sur les résultats des deux tests.



Grâce à ces schémas, on comprend aisément que, pour les DA débutantes qui se manifestent d'abord par des confusions entre des couleurs désaturées (proches du blanc de référence dans le diagramme de chromaticité), les couleurs des pions désaturés peuvent être confondues.

Le test désaturé met alors en évidence ces erreurs qui ne sont pas encore visibles sur le test standard. Plus tard, si la dyschromatopsie s'aggrave avec l'évolution de sa pathologie causale, les processus de confusion colorée atteindront aussi les couleurs plus saturées. Les deux tests, saturé et désaturé, comporteront alors des erreurs mais les lignes de confusions demeureront plus nombreuses sur le test désaturé que sur le test standard.

Cet avantage de sensibilité se retrouve également dans la recherche des DH. La plus grande proximité des pions, liée à la faible saturation mais aussi à la plus grande luminosité, permet de retrouver des axes discrets là où le D15 standard peut encore être normal.

Les avantages du test désaturé en expliquent naturellement les inconvénients. La sensibilité se "paie" par une augmentation des faux positifs et par une interprétation plus aléatoire chez les patients plus âgés dont le cristallin jaunit. Il est de ce fait nécessaire de redéfinir les critères de normalité du test.

■ Interprétation du test

L'expérience montre que les critères de normalité du test de Lanthony sont en pratique proches de ceux qu'avait décrits Farnsworth pour le 15 hue.

Seront donc considérés comme normaux (Fig. 3) les résultats de classement du D15 désaturé :

- dans l'ordre strictement normal ;
- comprenant jusqu'à 3 inversions simples (c'est-à-dire des inversions de pions contigus) ;
- démarrant dans le sens anti-horaire c'est-à-dire lorsque le sujet place le pion 15 immédiatement après le pion de référence puis classe le reste des pions dans un ordre normal mais en sens inverse (15-14-13...) ;
- comprenant pour seule erreur un axe reliant le pion 7 au pion 15 puis la fin classée en sens anti-horaire jusqu'au pion 8.

Lanthony est moins sévère en estimant que l'on peut accepter plus de 3 inversions simples, une droite de confusion, deux droites de confusion après 40 ans, voire trois droites de confusions après 65 ans.

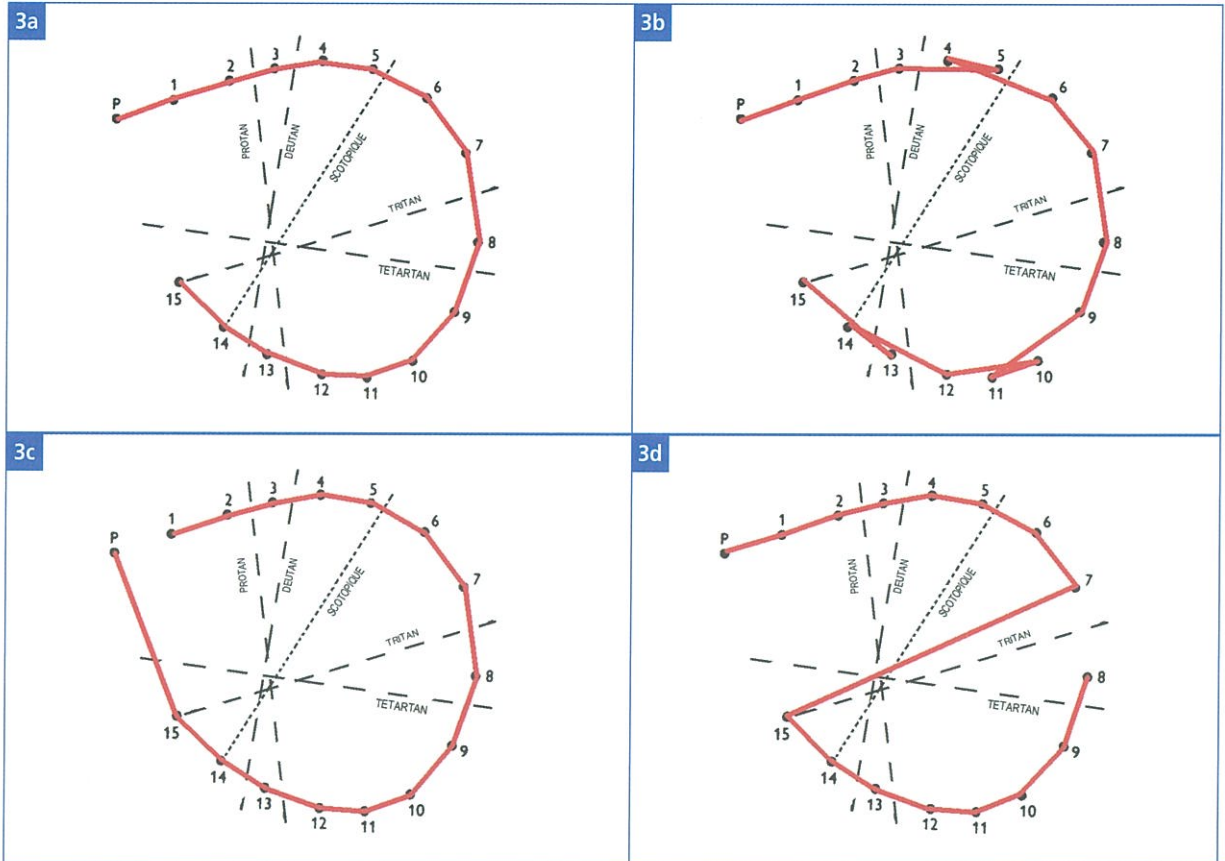
Ces critères qui mettent pratiquement à l'abri des faux positifs ont à notre sens l'inconvénient d'ôter à cet excellent test ce qui en fait son grand intérêt, à savoir son extrême sensibilité.

De même, nous ne sommes pas personnellement favorables à l'établissement de scores qui pour ce type de test sont d'interprétation délicate.

En clinique, plutôt que de vouloir se garantir contre les faux positifs, il nous paraît plus utile d'en assumer l'existence,

Figure 3 - Tracés de résultats de D15 désaturés pouvant être considérés comme normaux.

- 3a - Tracé strictement normal.
- 3b - Tracé comprenant jusqu'à 3 inversions simples.
- 3c - Tracé en sens anti-horaire.
- 3d - Tracé avec erreur 7-15.



d'en minimiser les significations pathologiques par une bonne connaissance de leurs causes principales (âge, éclairage insuffisant, pathologies associées) et d'en limiter l'apparition notamment par un éclairage d'au moins 500 lux après 50 ans.

Les résultats de ce test désaturé doivent être interprétés en tenant compte de l'ensemble des données cliniques et de sa propre expérience. Ils peuvent difficilement faire l'objet de résultats statistiques ou quantifiés. Cela sera possible pour d'autres tests que nous verrons plus loin et auxquels nous ferons appel dans un deuxième temps si nécessaire.

Concernant la présentation de la feuille de résultats fournie avec le test désaturé, on notera deux points.

Le premier est la présence d'un schéma de résultats du D15 standard imprimé à côté du schéma du D15 désaturé.

Le principe de cette présentation est de proposer d'effectuer les 2 tests consécutivement. Cette présentation nous paraît

désuète. Elle ne correspond pas, nous le verrons plus loin, à notre pratique actuelle. Elle est encore issue des principes de batteries de tests qui étaient en vigueur dans les années soixante-dix et qui sont aujourd'hui à proscrire. Le seul intérêt de cette présentation est de montrer chez un patient donné la plus grande sensibilité du test désaturé (Fig. 4).

Le second est la mention de la direction des axes tétartan et scotopique qui n'existe pas sur le schéma du D15 standard. Ces indications sont très utiles pour l'interprétation des DA.

L'axe tétartan n'a aucun sens physiologique. Il est issu d'une terminologie obsolète liée à des théories anciennes sur la vision des couleurs que l'on sait maintenant être sans fondement. Néanmoins, cette appellation est utile pour ce test car elle pallie artificiellement l'un des défauts conceptuels qu'il partage de facto avec le 15 hue de Farnsworth, à savoir l'absence de pion d'une couleur située exactement dans l'axe tritan.

Compte tenu de la prévalence largement majoritaire des dyschromatopsies de type III donc d'axe bleu-jaune parmi les DA et de la nécessité de les décrire le mieux possible, l'usage des vocables tritan et tétartan pour qualifier la direction des axes de confusion principaux est resté de pratique courante. Il a l'avantage de rendre compte de la grande variabilité des axes de confusion dans les DA.

Le pragmatisme a prévalu sur la logique terminologique. Cela n'est pas un mal à la condition expresse que l'on se souvienne que le terme tétartan ne trouve aucun support dans la théorie de la vision des couleurs chez l'homme.

Remarque : Lanthony a étudié, en 1995, l'effet de la répétition du test et a conclu que 3 passations consécutives du test permettent d'éliminer tous les faux positifs de la première passation (or ils sont nombreux : 16 %). L'intérêt de cette étude n'est pas de pousser l'examineur à effectuer

systématiquement 3 fois le test, ce qui le rendrait pratiquement sans intérêt au regard du temps à y passer, mais de montrer la valeur très grande d'un test d'emblée normal et aussi, en cas de doute sur un cas précis, le caractère absolument pathologique d'un test qui reste anormal après 3 passations.

■ Intérêt du D15 désaturé

Le D15 désaturé est un test simple, facile à mettre en œuvre, rapide et ouvert. Il nécessite pour être administré une acuité visuelle un peu meilleure que pour le test standard, habituellement au moins 2 à 3/10 mais tout est affaire de cas particulier.

Il permet de détecter des dyschromatopsies de faible intensité qui peuvent passer inaperçues au 15 hue de Farnsworth, essentiellement dans le cadre des DA (Fig. 4) mais également des DH.

Figure 4 - Aspect de la feuille de résultats du D15 désaturé.

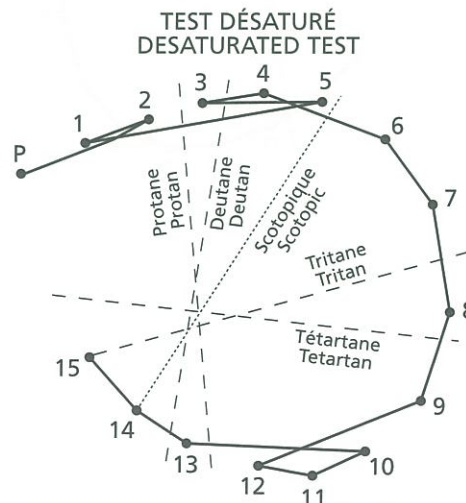
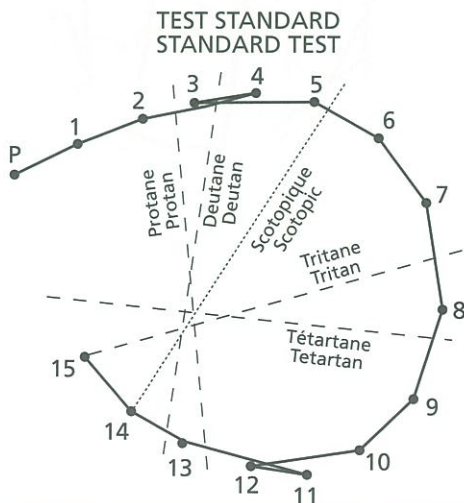
Le cas montré est celui d'une DA de type III de Verriest (discret axe bleu-jaune mixte, intermédiaire entre tritan et tétartan). À gauche se trouve le tracé du D15 standard et à droite celui du D15 désaturé. On remarquera que le D15 standard (saturé) serait considéré comme normal suivant les critères de son auteur. Pour notre part nous considérons que ce D15 est anormal mais il n'est pas possible de qualifier avec lui seul la dyschromatopsie. Le D15 désaturé (schéma de droite) permet de le faire en montrant clairement les droites de confusion d'axe bleu-jaune.

TEST 15 HUE DÉSATURÉ de LANTHONY selon FARNSWORTH-MUNSELL LANTHONY'S DESATURATED 15 HUE TEST according to FARNSWORTH-MUNSELL

Nom _____ Âge _____ Date _____ N° _____
Name _____
Œil _____ Diagnostic _____
Eye _____

TEST STANDARD, ordre donné par le sujet : _____
STANDARD TEST order given by the patient : _____
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

TEST DÉSATURÉ, ordre donné par le sujet : _____
DESATURATED TEST order given by the patient : _____



En effet, dans le cadre des DH, la distinction entre les trichromates anormaux moyens et sévères et les dichromates est plus difficile qu'avec le 15 hue standard.

En revanche, le D15 désaturé est très fin dans la détection des trichromatismes anormaux légers qui passent souvent inaperçus au D15 standard (Fig. 5).

Il permet de quantifier approximativement les dyschromatopsies, notamment en comptant le nombre de droites de confusion retrouvées et en tenant compte de leur position sur le schéma, ce qui demande un certain apprentissage.

L'interprétation des DA est plus délicate que celle des DH. La signification de quelques erreurs d'axe bleu-jaune situées à la partie supérieure du schéma n'est pas exactement la même que celles de petits axes isolés dans sa partie basse. L'association fréquente de plusieurs types de déficits accroît également la difficulté d'interprétation, sans compter la possibilité de la juxtaposition d'une DH à une DA.

Le diagnostic du type d'axe, protan ou deutan, est plus difficile qu'avec le test standard, sachant que le test désaturé a tendance à trouver un peu trop d'axes protan après vérification à l'anomaloscope.

Malgré son défaut d'origine majeur lié à une insuffisance du nombre de pions à proximité de l'axe neutre tritan, c'est tout de même dans la détection des DA d'axe bleu-jaune que le D15 désaturé est le plus performant. Il permet de déterminer finement l'orientation de ces axes qui, pour être décrite avec précision, nécessite de conserver une terminologie riche : axes tritan, tétartan, parfois même mixte, intermédiaire entre tritan et tétartan.

Ce test permet de visualiser assez facilement et simplement la "rotation" de l'axe lors de l'évolution des DA de type III ce qui est d'un grand intérêt en clinique, notamment au cours du suivi de la rétinopathie diabétique (Fig. 6).

Dans les DA très évoluées le D15 désaturé perd de son intérêt. Il existe alors une anarchie dans la direction des droites de confusion qui ne permet plus de retrouver la véritable orientation des axes de confusion. On aura dans ce cas tout intérêt à tester le sujet avec un test saturé, notamment le D15 standard, qui sera plus discriminant (Fig. 7).

Figure 5 - Protanomalie légère.
5a - D15 standard strictement normal.
5b - D15 désaturé : le trichromatisme anormal est évident.

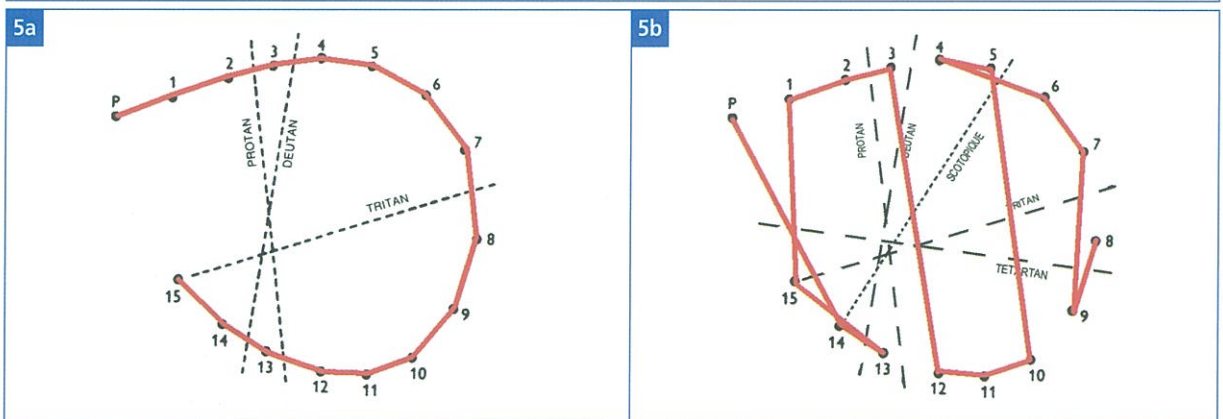
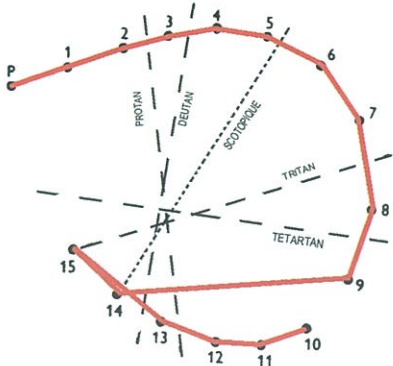
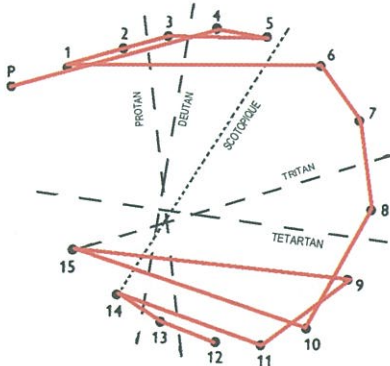


Figure 6 - Évolution d'une DA de type III par rétinopathie diabétique.
On observe à la fois l'aggravation de l'intensité de la DA d'axe bleu-jaune (augmentation du nombre de droites de confusion) et la rotation de son axe.
6a - Axe mixte (intermédiaire tritan-tétartan) léger.
6b - Axe tétartan important.
6c - Rotation vers l'axe tritan.

6a



6b



6c

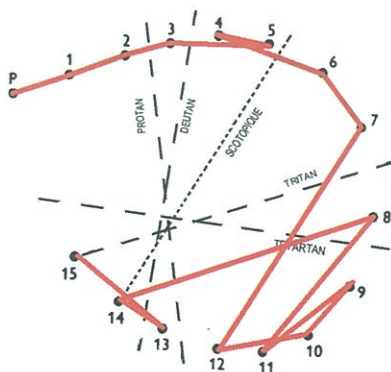
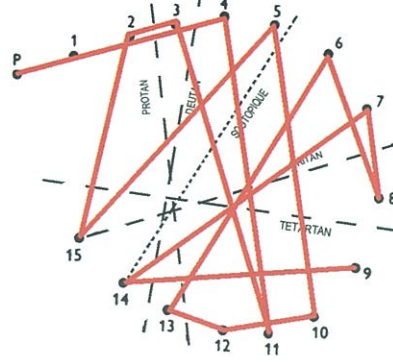
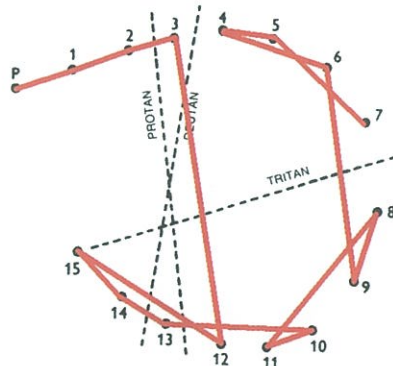


Figure 7 - Intérêt du D15 standard dans les DA sévères.
7a - DA "sans axe" (type IV de Verriest) d'interprétation difficile dans une SEP testée au D15 désaturé.
7b - Le même œil testé au D15 standard. La DA devient lisible : DA de type I de Verriest (axe rouge-vert de type protan) dominante, associée à une DA de type III discrète.

7a



7b



Points forts

- Très bon test pour la détection des DA débutantes quel que soit leur axe.
- Très utile pour le diagnostic des trichromatismes héréditaires légers et modérés.
- Permet un bon degré de quantification en acceptant l'idée qu'elle demeure subjective.
- Il faut retenir les critères de normalité des résultats du test.
- Les conditions de passation du test doivent être rigoureuses.

Les autres tests désaturés disponibles

En pratique il n'y en a pas ! Ce paragraphe se trouve dans ce fascicule pour mémoire, pour les seuls passionnés.

Il existe un test de 28 hue désaturé de ROTH en réalité non disponible et surtout le New Color Test de Lanthony (NCT), dont l'intérêt est majeur. C'est en effet certainement le test de classement le plus performant qui existe mais sa relative complexité, sa durée de passation et son coût l'ont rendu tellement confidentiel qu'il n'est finalement plus édité actuellement.

D'autres tests existent mais n'ont jamais été utilisés en France.

Nous ne décrivons pas en détail le NCT dans ce fascicule qui se veut pratique et concret. Sachons seulement que ce test, présenté peu de temps après le D15 désaturé, se voulait un aboutissement du principe qui a présidé à la création du premier test désaturé de Lanthony. Le NCT est essentiellement conçu pour le diagnostic des DA. Il associe plusieurs plumiers à saturations différentes et un plumier de pions gris.

L'idée est double :

- quantifier la DA en montrant à partir de quelle saturation elle est visible ;
- déterminer avec précision la zone neutre des DA.

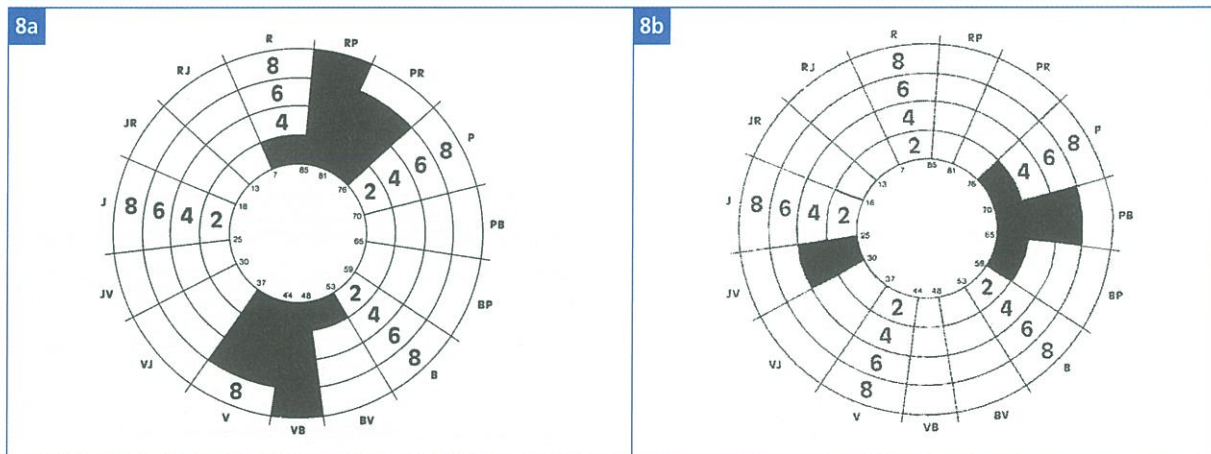
Incidemment le test est aussi valable pour le diagnostic des DH.

Son intérêt majeur est d'avoir mis en évidence concrètement sur un grand nombre de cas l'extrême variabilité des zones neutres des DA tant dans leur localisation que dans leur largeur qui peut d'ailleurs être différente de part et d'autre du blanc (Fig. 8).

Ces observations ont permis une fois pour toutes de bien comprendre les différences fondamentales qui existent entre les DH et les DA. Ces différences sont bien connues des physiologistes et sans surprise pour eux mais elles étaient à cette époque mal appréhendées par bon nombre de cliniciens, eux-mêmes trompés par une terminologie hésitante propre à entretenir la confusion entre deux entités pourtant si différentes.

La description approfondie du NCT de la plume même de son auteur sera retrouvée pour les passionnés dans le rapport annuel de 2001 des Sociétés d'Ophtalmologie de France sur les dyschromatopsies.

Figure 8 - Le New Color Test. Zones neutres des DH et des DA.
8a - Zone neutre d'une protanopie.
8b - Zone neutre d'une DA d'axe bleu-jaune débutante (diabète).



Les autres tests de classement

J. Leid,
Pau

Le 100 hue de Farnsworth

Description et principe

Ce test a été longtemps considéré comme LE test de vision des couleurs et universellement utilisé. Créé en 1943, il a connu son apogée dans les années 60 à 80, car il était alors considéré comme test "à tout faire", capable de qualifier et de quantifier toutes les dyschromatopsies. Les publications qui se réfèrent à ce test sont innombrables mais quelques auteurs en ont alors oublié les principes fondamentaux et lui ont demandé ce qu'il ne pouvait pas faire en l'érigeant en juge souverain.

Aujourd'hui, la place du 100 hue s'est amplement réduite. Ce test est en effet extrêmement long, son interprétation est parfois délicate pour les néophytes, l'état des tests dans les cabinets et les services est souvent défectueux. Il ne doit en aucun cas être proposé actuellement en première

intention mais doit être considéré comme un recours dans le cadre de stratégies bien précises. Dans cette perspective, nous n'en décrivons pas ici le déroulé précis. Ce test ne s'adresse aujourd'hui qu'à des cabinets spécialisés.

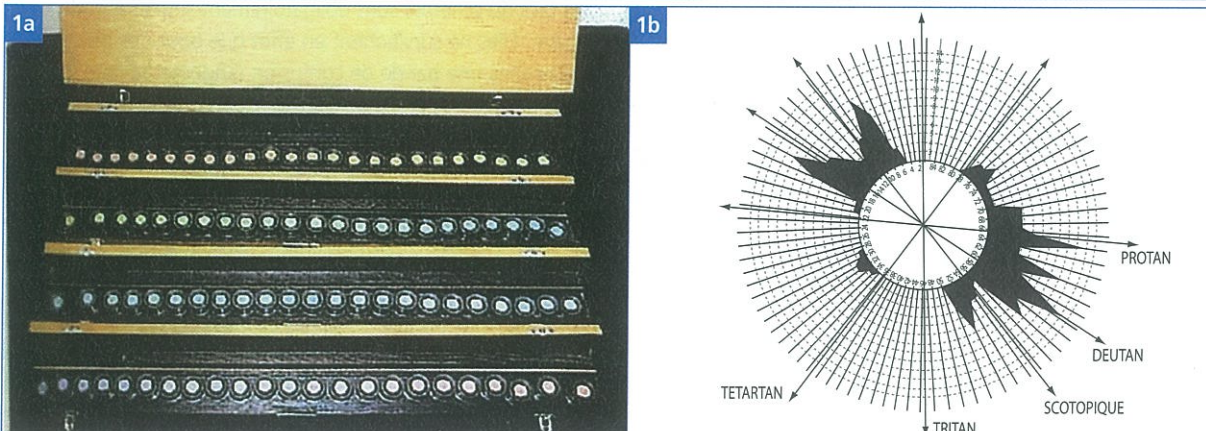
Sa passation est décrite dans son manuel et l'on pourra se référer au rapport de 2001 pour de plus amples précisions. Il est en revanche indispensable dans le cadre de ce numéro de Propos de comprendre ce qui différencie fondamentalement dans leurs principes les tests de 100 hue des tests D15.

Le 100 hue comporte en fait 85 pions (84 dans certaines versions). Le point capital est que ces pions sont répartis en 4 plumiers distincts (Fig. 1). Chaque plumier couvre sur le plan colorimétrique environ le quart du cercle chromatique : zone du rouge au jaune-vert pour le premier, du jaune-vert au vert-bleu pour le deuxième, du vert-bleu au pourpre-bleu pour le troisième et du pourpre-bleu au pourpre-rouge pour le dernier. Les couleurs sont saturées et de luminosité moyenne, théoriquement de *value* 5 et de *chroma* 5 et

Figure 1 - Présentation du Farnsworth 100 hue.

1a - Le test en 4 plumiers.

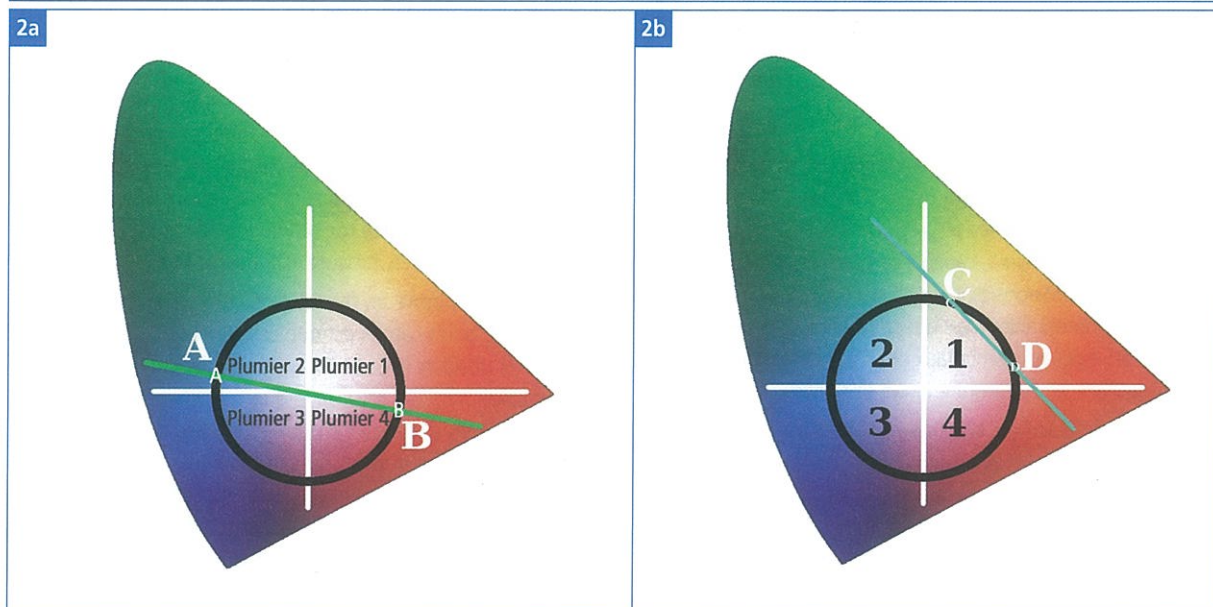
1b - Le diagramme de résultat (exemple d'une dyschromatopsie d'axe deutane ; les axes ne figurent pas sur le diagramme original).



un sujet normal discerne juste la différence entre deux pions consécutifs. Le classement des pions se fait *plumier par plumier* suivant un principe identique à celui décrit pour le D15. La représentation graphique est *déduite* non pas directement des classements effectués par le sujet mais des scores d'écart entre deux pions placés consécutivement. Il est tout à fait crucial de prendre conscience que cette organisation ne permet pas de mettre en évidence directement les confusions que peut faire un dyschromate

entre pions situés sur un axe donné, pour la simple raison que les couleurs qui pourraient être confondues de part et d'autre du blanc ne sont pas dans le même plumier (Fig. 2a). Les seules erreurs que peut commettre un dyschromate avec le 100 hue sont des erreurs de proximité liées à un déficit de la sensibilité différentielle à la tonalité, c'est-à-dire une diminution de sa capacité à percevoir comme différentes deux couleurs proches sur le cercle chromatique (Fig. 2b).

Figure 2 - Position schématique des pions du 100 hue dans le diagramme de chromaticité selon les plumiers.
 2a - Les pions A et B sur le même axe de confusion (en vert) ne peuvent être confondus par un sujet dyschromate car ils sont dans 2 plumiers différents.
 2b - Les pions C et D peuvent être confondus car ils sont dans le même plumier (axe deutan).



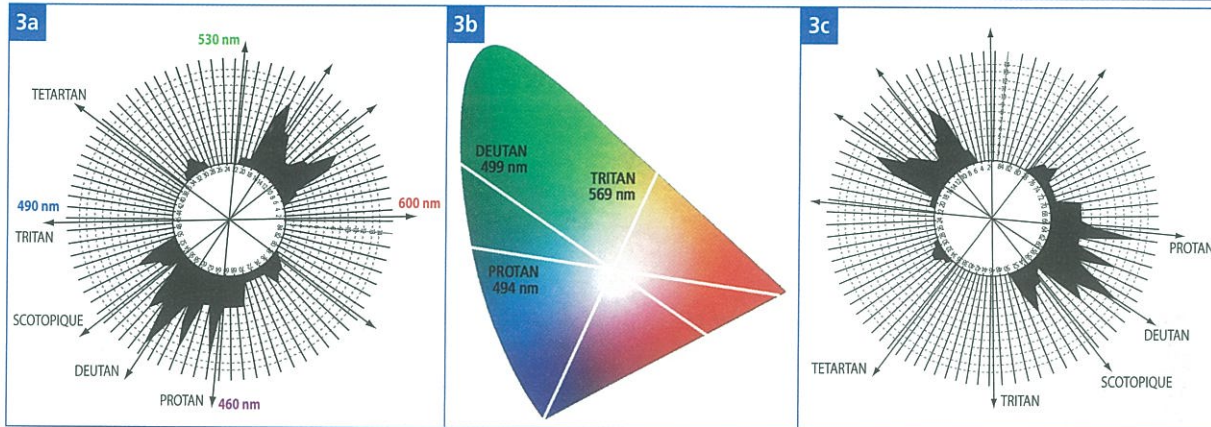
Physiologiquement, pour les dyschromatopsies héréditaires, la sensibilité différentielle à la tonalité étant la meilleure près de l'axe neutre et mauvaise lorsqu'on s'en éloigne sur le cercle chromatique, cela se traduit par des pics d'erreurs maximum loin de l'axe neutre. C'est le plus souvent l'inverse dans les DA ce qui complique étrangement l'interprétation de ce test dans ces cas.

Les pics d'erreurs figurant sur le schéma de résultat ne représentent donc pas directement les axes de confusion colorée comme sur le Panel D15. Ils reflètent seulement

la diminution importante de la sensibilité différentielle à la tonalité là où ils se dessinent. Les erreurs maximales (les pics du schéma) sont obligatoirement situées loin de l'axe neutre. Elles ne surviennent en effet que pour des pions situés dans une bande de confusion tangente au lieu géométrique des pions du 100 hue dans le diagramme de chromaticité. Le schéma de résultat étant un cercle, l'axe de confusion sera par construction géométrique perpendiculaire aux pics les plus importants (Fig. 3).

Figure 3 - Position des axes de confusion dans le 100 hue.

- 3a - Cette figure montre la véritable orientation du schéma du 100 hue selon la position de ses pics dans le diagramme de chromaticité (représenté en 3b). Les pics sont ceux d'un axe deutan. On voit qu'ils sont éloignés de l'axe neutre deutan visible en 3b.
- 3b - Position des axes neutres protan, deutan et tritan dans le diagramme de chromaticité. On constate que les pics sont pratiquement perpendiculaires à l'axe neutre.
- 3c - Le schéma de résultats tel qu'il est disponible en pratique, Farnsworth ayant, dans l'espoir d'en simplifier la lecture, fait faire une rotation antihoraire d'environ 90°, laissant croire malencontreusement que les pics sont dans la direction de l'axe neutre.



■ Interprétation du test

Nous avons bien noté que le 100 hue ne donne l'axe de la dyschromatopsie qu'indirectement, celui-ci étant grossièrement perpendiculaire aux pics de déficits en sensibilité les plus importants.

Dans les dyschromatopsies héréditaires (DH), les pics sont à peu près symétriques par rapport au centre et ils sont situés sur des points bien précis et parfaitement connus du cercle chromatique.

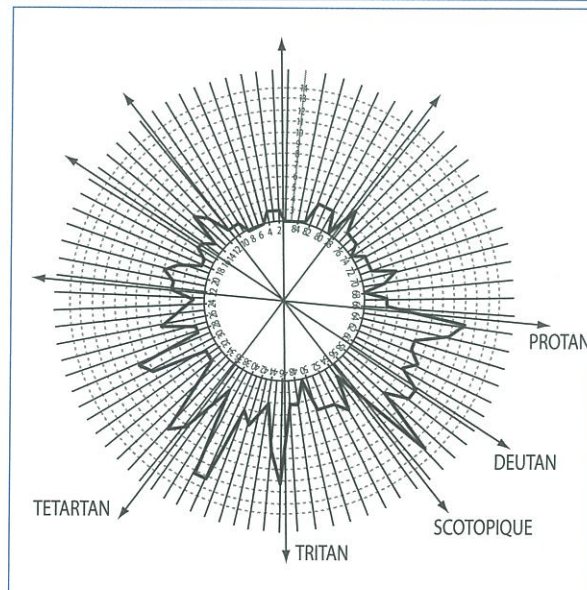
Dans les dyschromatopsies acquises (DA), les pics sont de localisation plus aléatoire et les premiers auteurs qui ont utilisé ce test ont rapidement remarqué qu'ils n'étaient pas forcément symétriques, notamment dans les DA débutantes (Fig. 4).

Pour l'aspect quantitatif, on peut calculer un "score" d'erreurs avec le 100 hue qui reflète le nombre et l'importance des erreurs. Ce score est globalement intéressant mais il faut néanmoins s'en méfier dans les DA car il ne fait que traduire l'ensemble des erreurs sans tenir compte de la "gravité" de celles-ci en physiopathologie. Aussi faut-il être très prudent dans son usage et se garder de poser pour dogme qu'une augmentation du score est équivalente à une aggravation de la dyschromatopsie.

Prenons un exemple. Une DA liée à un diabète débutant est le plus souvent de type III de Verriest (axe bleu-jaune). Assez souvent son évolution est marquée par une "rotation" de

Figure 4 - Une DA au 100 hue.

On remarque immédiatement que les pics ne sont pas symétriques. Ils ne sont pas situés strictement sur les axes neutres des DH. Il s'agit ici d'une DA modérée associant un axe bleu-jaune et un axe rouge-vert dans une rétinopathie diabétique.



l'axe qui ne s'accompagne pas toujours d'une augmentation du nombre d'erreurs (Cf. Fig. 6b et 6c de l'article "Les test de classement désaturés"). C'est un premier cas où le score qui peut rester stable ne traduit pas l'aggravation pourtant réelle de la dyschromatopsie. Au décours de la rétinopathie diabétique peut survenir une maculopathie. Celle-ci peut se traduire par l'apparition d'un axe rouge-vert de type I ou II. À ce stade il peut arriver que des déficits d'axe bleu-jaune, s'ils étaient très importants, diminuent en proportion au profit des déficits de type rouge-vert. Cela peut aller jusqu'à faire diminuer le score du 100 hue ce qui pourrait être pris à tort pour une amélioration de la pathologie alors qu'il s'agit en fait de tout le contraire.

■ Intérêt du 100 hue

Avantages

Le 100 hue est un test fiable, performant, très ouvert et polyvalent. Il est capable dans la plupart des cas de déceler tout type de dyschromatopsie. Sa sensibilité et le grand nombre de ses pions relativement bien étagés sur le cercle chromatique lui permettent de déceler des dyschromatopsies minimales ainsi que des axes inattendus. Son caractère quantitatif est réel à la condition d'en connaître les limites. Tout cela en fait un très bon test de recours dans certains cas difficiles.

Inconvénients

Ils sont hélas nombreux et sont le prix logique à payer en contrepartie de ses avantages.

Le test est très long à passer (8 plumiers de 21 pions à classer pour une DA !)

Le graphique des résultats et le score sont très longs à obtenir sauf à disposer des très rares appareils automatisés.

La difficulté du test le rend inaccessible aux jeunes enfants (jusqu'à 8 à 12 ans) et aux faibles acuités visuelles (en pratique moins de 5/10).

Il est peu efficace dans une tâche de dépistage.

Il différencie très mal les trichromates anormaux moyens et sévères des dichromates.

Son interprétation demande une bonne connaissance des dyschromatopsies et de son principe.

Tout cela fait que ce test est en pratique tombé en une certaine désuétude, essentiellement parce qu'il ne satisfait pas aux critères de notre temps : rapidité, simplicité d'utilisation et facilité d'interprétation des résultats par le plus grand nombre.

Points forts 100 hue

- Test "universel" très ouvert, capable de diagnostiquer tout type de dyschromatopsie.
- Bien connaître son principe qui est complexe ce qui conditionne son interprétation parfois délicate.
- Test long à n'utiliser qu'en position de recours par des praticiens entraînés.

Les dérivés du 100 hue

La complexité du 100 hue a rapidement amené certains auteurs à vouloir le "simplifier" en éliminant un pion sur 2 ou 3. Il existe ainsi des 40 hue qui n'ont jamais été en usage courant en France. En revanche, le test de 28 hue, créé par Roth, a été largement utilisé et l'est encore.

■ Le 28 hue de Roth

La longueur du test et la difficulté à interpréter le 100 hue surtout en cas de DA complexe ont amené Roth à proposer, dès 1966, un test déduit du grand test de Farnsworth en prenant un pion sur 3. Dans le même temps, les 28 pions conservés ont été placés dans un seul et même plumier.

La présentation du plumier diffère de la présentation linéaire des tests de Farnsworth. Les pions y sont en effet disposés directement suivant le cercle chromatique (Fig. 5a). En dehors du fait de disposer d'un plumier qui n'est pas démesurément long, il n'y a pas grand avantage à cela dans la mesure où il faut tout de même établir un schéma de résultat qui reprend cette même disposition circulaire. Ce schéma est calqué dans sa disposition sur celui du 100 hue (Fig. 5b).

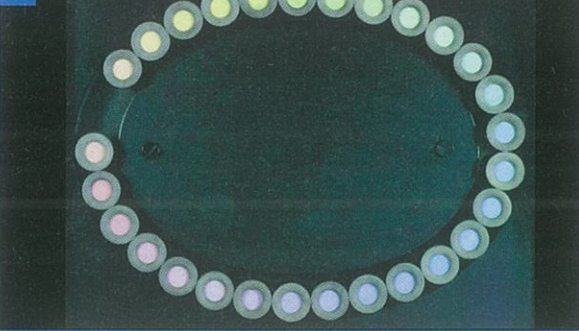
Ce faisant, le test de 28 hue qui est directement déduit du 100 hue en perd le principe fondamental puisque le patient peut à nouveau, comme dans un 15 hue, commettre des confusions diamétralement opposées par rapport au blanc. Cependant, comme dans le 100 hue, il est aussi possible de commettre des erreurs de voisinage perpendiculairement à l'axe neutre. Cela entraîne dans un bon nombre de cas des difficultés d'interprétation, parfois insurmontables.

En pratique, le 28 hue à l'avantage sur le 100 hue de la rapidité et sur le 15 hue d'une meilleure répartition des pions notamment avec la présence de pions autour de l'axe tritan.

Il a l'inconvénient de mêler fortement les principes fondamentaux du 100 hue et du 15 hue ce qui induit une difficulté d'interprétation. Celle-ci pourrait être levée avec un nombre intermédiaire de pions, soit une vingtaine, pour en

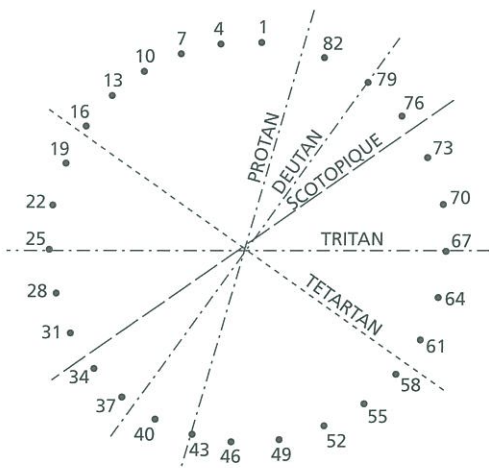
Figure 5 - Le test de 28 hue de Roth.
5a - Les pions dans leur boîte.
5b - Le schéma de résultats.

5a



5b

TEST 28 HUE de ROTH selon FARNSWORTH-MUNSELL



revenir finalement à ce qu'avait initialement proposé Farnsworth mais qu'il n'avait pas retenu.

Points forts 28 hue

- Test ouvert, rapide, de bonne précision.
- Donne l'axe de confusion directement.
- Interprétation parfois difficile en raison même de son principe.

Les autres tests

Nous signalerons ici l'existence d'une version désaturée du test de 28 hue de Roth dont il n'existe que quelques prototypes.

Il existe par ailleurs une version à visée ergonomique du test de 15 hue, élaborée par Lanthony à partir de 2 plumiers de 15 hue.

Les tests de 40 hue de même que les tests hypersaturés ne sont plus en usage.

Birch a imaginé de recréer le test initial de 20 hue de Farnsworth.

Les tests de seuils Les anomaloscopes

J. Leid,
Pau

Tous les tests dont nous avons parlé jusqu'à présent sont des tests dits "pigmentaires". Ils nécessitent de disposer de couleurs présentes physiquement sur différents supports.

Les tests mesurant les seuils de perception colorée nécessitent l'usage de couleurs non pigmentaires, autrement dit de "lumières". Nous ne parlerons ici que des anomaloscopes et tests apparentés.

Les anomaloscopes représentent la catégorie de tests de vision des couleurs la plus élaborée.

Ce sont les seuls instruments capables de distinguer avec certitude (au moins sur le plan théorique) les dichromates des trichromates anormaux.

La France n'a cependant pas la culture de l'anomaloscopie et très peu d'appareils sont actuellement en usage dans notre pays.

Pourquoi dans ce cas consacrer un chapitre à ce type d'examen ?

Peut-être pour inciter les générations futures à infléchir cet ostracisme envers un outil que l'informatique a rendu très simple d'utilisation. Sachons par exemple qu'en Allemagne, les résultats de l'anomaloscope font partie intégrante de la législation sur les conditions ergonomiques de la perception colorée dans un bon nombre de cas.

Principe

Faute de pouvoir acquérir une bonne pratique de l'examen en l'absence d'appareils facilement disponibles, il est nécessaire de se familiariser avec le principe de l'examen. Nous allons le présenter ici de façon volontairement très schématique.

L'anomaloscope fait appel à des couleurs "spectrales" : on manipule des "lumières" et l'on étudie des mélanges colorés additifs. Pour cela on utilise des colorimètres directement issus des appareils de laboratoire.

Le principe du test est de réaliser des égalisations colorées entre deux plages lumineuses juxtaposées observées à travers un oculaire. L'une est la plage de référence. Elle est éclairée par une lumière spectrale monochromatique de longueur d'onde parfaitement définie. Sur l'autre sont projetées simultanément deux lumières monochromatiques dont le sujet testé perçoit la synthèse additive. Leurs longueurs d'ondes sont situées de part et d'autre de celle de la lumière de référence. Le sujet peut régler la proportion du mélange de sorte à ce que sa couleur lui paraisse identique à celle de la plage de référence. Incidemment, il peut aussi régler la luminosité de la lumière de référence. Il a ainsi réalisé une équation colorée métamère, c'est-à-dire une égalisation de couleur entre deux plages éclairées par des lumières qui sont physiquement différentes.

L'œil humain est incapable de savoir si une couleur est pure ou si elle est issue d'un mélange coloré. Il diffère en cela fondamentalement de l'oreille qui, elle, peut, dans une certaine mesure, analyser les différentes composantes d'un son d'une fréquence donnée.

Si l'on choisit convenablement trois primaires A, B et C, la longueur d'onde de A étant intermédiaire entre les longueurs d'onde de B et C, on pourra écrire en simplifiant une équation du type $A = B + C$ où le symbole = signifie que l'apparence colorée est identique.

Si de surcroît on choisit les 3 primaires sur la même ligne de confusion colorée, on obtient une équation apte à explorer les dyschromatopsies.

Ce travail a été fait dès la fin du XIX^e siècle pour aboutir à l'équation de Rayleigh, célèbre à juste titre en raison de son efficacité : rouge + vert = jaune (pour les puristes 670 nm + 546 nm = 589 nm).

Cette équation est très performante car elle se situe sur le bord linéaire droit de l'enveloppe du triangle des couleurs et coïncide avec la direction des lignes de confusion rouge-vert protan et deutan qui sont quasiment identiques dans cette zone particulière (Fig. 1). Cette situation lui permet de bien explorer les deux types de dyschromatopsie.

On sait qu'il suffit de deux équations dont les primaires sont réparties le long du spectre pour explorer la totalité du sens chromatique. C'est la base de la méthode des deux équations colorées de Roth mise au point vers la fin des années 80.

L'équation de Rayleigh explore les primaires rouge et verte et donc les longueurs d'onde longues et moyennes du spectre.

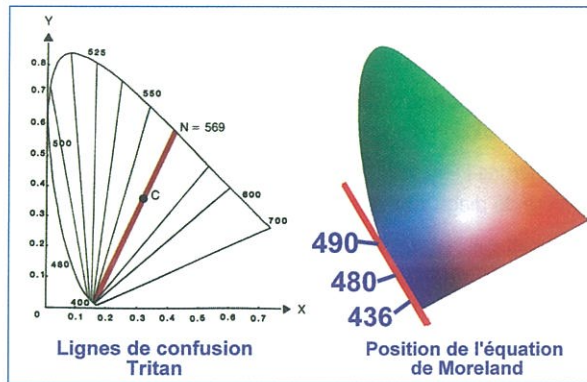
La deuxième équation devra donc explorer les courtes longueurs d'onde.

L'équation la plus couramment retenue pour cela est aujourd'hui l'équation de Moreland : violet + bleu-vert = bleu (436 nm + 490 nm = 480 nm), équation proposée en 1973.

En réalité, pour que l'équation soit parfaite il faut désaturer légèrement le violet.

Cette équation coïncide à peu près avec la portion la plus rectiligne de l'enveloppe du triangle des couleurs dans sa partie gauche. Elle est proche à ce niveau de la direction des lignes de confusion bleu-jaune de type tritan (Fig. 2).

Figure 2 - Position comparative de l'équation de Moreland et des lignes de confusion tritan.



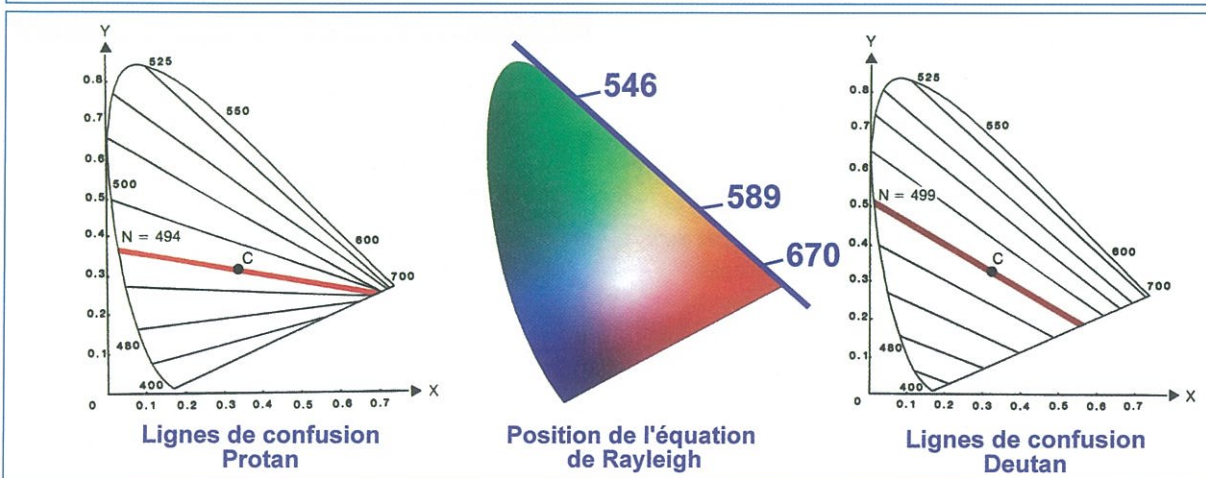
Déroulement et intérêt du test

Nous ne décrivons pas ici des procédures qui pour l'instant ne sont pas accessibles à la plupart des ophtalmologistes faute de matériel. En revanche, il est nécessaire de comprendre comment l'anomaloscope permet de détecter les dyschromatopsies.

Il est demandé au sujet de comparer les couleurs des deux plages colorées contiguës. Si elles lui paraissent d'aspect inégal, il devra modifier la proportion du mélange de la plage test jusqu'à trouver celle qui lui donne une sensation de couleur identique à celle de la plage de référence.

Les procédures sont automatisées et informatisées pour les appareils modernes et font globalement appel au même principe que la détection des seuils en périmétrie statique.

Figure 1 - Position comparative de l'équation de Rayleigh et des lignes de confusion protan et deutan.



On peut ainsi déterminer une zone d'égalisation qui étudie de fait la sensibilité différentielle à la tonalité (rappelons que c'est le facteur qu'étudie le 100 hue !) et le point moyen d'égalisation qui est à comparer à celui d'une population trichromate normale.

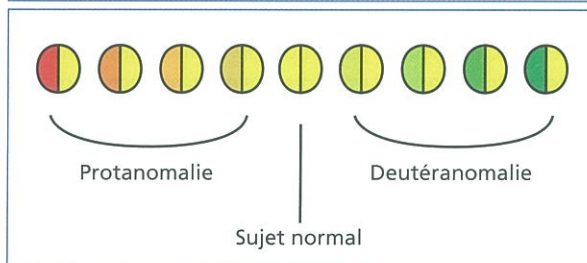
Le test sera anormal si la zone d'égalisation est élargie et/ou si le point moyen d'égalisation est déplacé.

Considérons l'équation de Rayleigh qui est la référence en matière de diagnostic des DH.

Si le sujet est trichromate anormal, le point moyen d'égalisation sera déplacé d'un côté ou de l'autre du point d'égalisation du trichromate normal selon le type d'anomalie.

Un protanomal aura besoin de mettre plus de rouge dans son mélange pour obtenir l'égalité sensorielle, un deutéranomal devra mettre plus de vert (Fig. 3).

Figure 3 - Anomaloscope : diagnostic des trichromatismes anormaux grâce à l'équation de Rayleigh (d'après Roth).



La position du point d'égalisation peut être repérée directement sur des graphiques ou être quantifiée grâce au quotient d'anomalie.

Si le sujet est dichromate, sachant que l'on se trouve sur une ligne de confusion colorée telle que les 3 primaires sont confondues, c'est-à-dire qu'elles sont perçues selon une même teinte, toutes les proportions du mélange coloré pourront donner lieu à une égalisation. Il suffira selon le cas de modifier la luminosité de la plage de référence.

L'anomaloscope permet alors indirectement d'établir la courbe spectrale photopique d'efficacité lumineuse relative dont on pourra déduire le type d'axe sachant que cette courbe se déplace vers une courbe scotopique pour les protanopes alors qu'elle est pratiquement normale pour les deutéranopes.

Tout cela se fait automatiquement pour les appareils modernes qui peuvent donner d'eux-mêmes le diagnostic.

L'anomaloscope est le seul appareil qui permette théoriquement de différencier de façon certaine les dichromates des trichromates anormaux ce qui justifie pleinement de lui consacrer un chapitre.

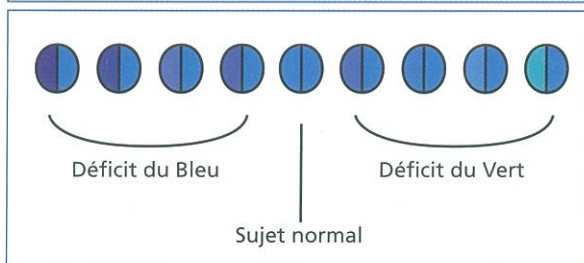
L'intérêt primordial de l'équation de Moreland réside davantage dans l'étude des DA qui sont pour la plupart d'axe bleu-jaune et peuvent ainsi être qualifiées et quantifiées.

La qualification est d'autant plus précise que l'on peut savoir dans quel sens se fait le déficit d'axe bleu-jaune, déficit du bleu ou déficit du vert, ce qui est impossible avec la plupart des tests pigmentaires sauf peut-être le 100 hue par l'observation des différences des pics de part et d'autre du cercle chromatique.

La quantification est bien sûr aisée grâce au quotient d'anomalie.

La largeur de la zone d'égalisation prend ici tout son intérêt. Un bon nombre de DA débutantes ne se traduisent que par un simple élargissement de la zone d'égalisation sans déplacement du point moyen d'égalisation (Fig. 4).

Figure 4 - Anomaloscope : étude des déficits des couleurs de courtes longueurs d'onde grâce à l'équation de Moreland (d'après Roth).



Points forts

- Test spectral.
- Test ouvert, très élaboré et aujourd'hui automatisé.
- Test qualitatif et quantitatif.
- Permet de différencier de façon absolue les dichromates des trichromates anormaux.

Les appareils commercialisés

■ Les anomaloscopes

La plupart des anomaloscopes sont d'origine germanique ou anglo-saxonne.

Le plus élaboré est cependant l'œuvre d'un français le Professeur Roth : il s'agit du *Color Vision Meter* (CVM) qui est l'aboutissement de l'anomalomètre de Besançon. Cet appareil est parfaitement calibré et validé. Il peut être utilisé de façon totalement automatique.

L'anomaloscope HMC (*Multi Color Anomaloscope* de Heidelberg) est semi-automatique. Les sources lumineuses sont des diodes. Il demande un peu plus de compétence pour l'examineur en même temps que plus de complaisance pour le patient qui est davantage sollicité.

N'est plus disponible actuellement l'*All color anomaloscope* IF2, conçu en Allemagne et qui reprenait les principes du CVM de façon succincte avec un affichage des résultats sur un simple display et un pilotage par microprocesseur intégré. Il en est de même de l'*anomaloscope de Nagel*, conçu en 1899 et qui servit de référence pendant des dizaines d'années dans le monde entier. Quelques exemplaires de ces deux types d'appareil fonctionnent encore en France. D'autres appareils n'ont jamais franchi les frontières de notre pays (Fig. 5).

Figure 5 - Le mythique anomaloscope russe AN59 photographié en Moldavie (photo Dr Marc Godart).



■ Le chromatomètre

Une mention particulière sera faite pour un appareil qui n'est pas un anomaloscope et que l'on range souvent à tort dans cette catégorie de tests car son principe en est différent. Il s'agit du chromatomètre de Malbrel. Cet appareil est aujourd'hui commercialisé dans une version plus ergonomique que les précédentes.

Son principe est l'évaluation indirecte de la courbe d'efficacité lumineuse relative (qui est aussi l'une des fonctions d'un anomaloscope). Celle-ci est obtenue par photométrie hétérochrome. En d'autres termes il s'agit de comparer la luminosité de deux plages contiguës de tonalités différentes. La comparaison se fait entre un jaune et un bleu d'une part et entre un rouge et un vert d'autre part. Quatre niveaux de luminosité de référence sont chaque fois testés.

Ce test qui est intéressant sur le plan théorique souffre d'une grande difficulté de réalisation pour les patients. Cette épreuve d'égalisation de luminosité est réputée à juste titre pour être la plus difficile de toutes les épreuves colorimétriques si les tonalités sont très différentes.

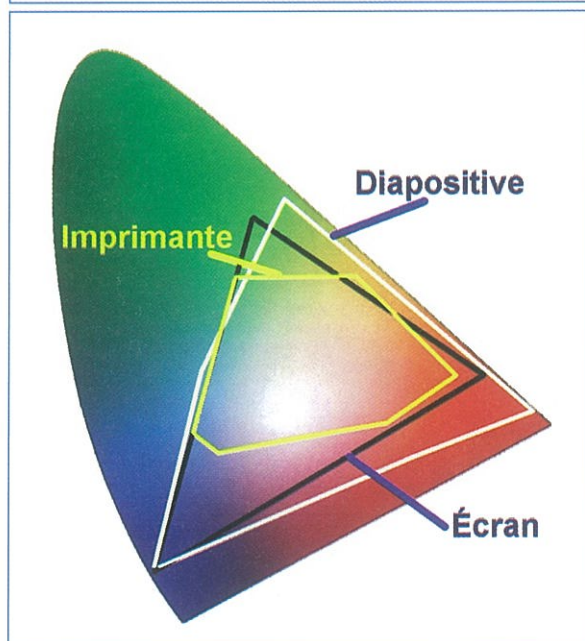
Il en découle des intervalles de confiance statistiques très larges. Cela permet une bonne appréciation de l'évolutivité d'une dyschromatopsie chez un individu donné mais le test est assez peu discriminant en interindividuel.

■ Les tests sur écran

Des tests de vision des couleurs sur écrans ont été développés. Ils ne peuvent en aucun cas remplacer un anomaloscope. En effet les équations d'un anomaloscope sont *métamères* ce qui signifie que les couleurs présentées sur chaque plage sont physiquement différentes. Ceci est de réalisation impossible sur un écran qui ne peut produire des couleurs qu'à partir de la combinaison de trois primaires qui sont toujours les mêmes. On ne peut donc réaliser sur les écrans que des équations à partir de couleurs élaborées à l'aide de sources physiquement identiques. Ces équations sont dites *isomères*. Il n'est en conséquence possible de tester que des seuils différentiels (essentiellement de saturation et de tonalité).

Deux écueils importants persistent cependant. D'une part les caractéristiques physiques des couleurs obtenues sont liées (luminosité, saturation et tonalité) ce qui nécessite de très puissants algorithmes pour ne faire varier qu'un seul paramètre ; d'autre part, il est impossible d'obtenir des couleurs spectrales pures, le lieu des couleurs obtenues sur un écran étant déjà plus réduit que celui des couleurs d'imprimerie ou de photographie (Fig. 6).

Figure 6 - Lieu spectral des couleurs obtenues sur écran.



Par ailleurs, seuls les écrans CRT (les tubes cathodiques), qui tendent maintenant à disparaître, permettent un étalonnage précis de la couleur. Celui-ci est encore très aléatoire sur les écrans plats.

Il reste donc à élaborer des tests compatibles avec la technologie des écrans. Des travaux sont en cours et doivent tenir compte des importantes contraintes que nous venons d'évoquer.

L'un des aspects les plus intéressants de ce domaine est l'existence de logiciels de simulation de la vision des dichromates et les applications que l'on peut imaginer pour améliorer la perception des sites internet par les daltoniens. L'un des plus évolués a été conçu en France par Françoise Viénot (<http://www.tsi.enst.fr/~brettel/colourmaps.html>).

Les tests particuliers (enfants - tests ergonomiques)

J. Leid,
Pau

Examen de la vision des couleurs de l'enfant

■ Le bon moment du dépistage

Contrairement à des idées reçues qui tendent d'ailleurs à s'estomper, la vision des couleurs chez le très jeune enfant est rapidement complètement efficace (vers l'âge de 4 semaines).

Il est capital au plan ergonomique de dépister suffisamment tôt les DH chez l'enfant afin de lui éviter des déconvenues liées à une mauvaise orientation scolaire puis professionnelle ainsi que l'incompréhension des enseignants vis-à-vis de difficultés qui pourraient à tort être prises pour un retard scolaire tant la couleur est omniprésente dans les outils d'enseignement.

Il est cependant important d'éviter de porter trop jeune un diagnostic qui aurait beaucoup de chance d'être erroné.

En effet, si le nourrisson acquiert très vite les outils physiologiques de la discrimination colorée, ce n'est que beaucoup plus tard qu'il acquerra les outils gnosiques permettant de verbaliser cette fonction, d'associer une terminologie adaptée au concept isolé de couleur (et non pas au concept associatif objet-couleur) et de comprendre les principes intellectuels de classification ou d'égalisation qui sont nécessaires pour faire les tests.

Aux âges de 3 à 5 ans, la dénomination des couleurs est peu fiable, l'enfant ayant souvent tendance à qualifier plusieurs couleurs du même terme, la couleur jaune étant la plus souvent choisie.

La potentielle inquiétude des parents, surtout dans les familles de dyschromates, doit être apaisée et il faut savoir attendre le moment opportun pour pratiquer les tests et les réitérer au moindre doute. Les conséquences psychologiques d'un faux positif ou d'un faux négatif sont parfois redoutables selon l'environnement familial.

Il faut savoir anticiper un éventuel dépistage scolaire qui n'est effectué dans la réalité en France que chez environ 10 % des élèves, ce qui est tout à fait consternant.

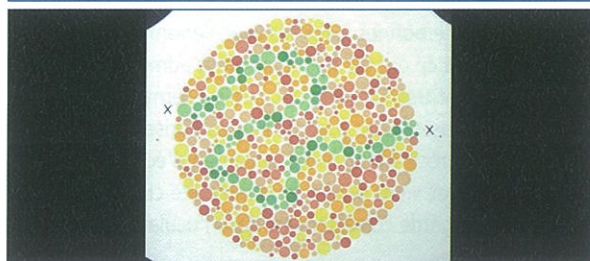
En pratique, les premiers dépistages fiables pourront être effectués selon les enfants vers 5 à 6 ans et les diagnostics de certitude vers 7 à 8 ans.

■ Les tests à utiliser

Quels sont les tests à utiliser chez l'enfant ?

À 5 ou 6 ans, on utilisera volontiers des PIC. Les serpentins du test d'Ishihara sont d'une excellente précision mais sont parfois difficiles pour certains enfants de cet âge. On pourra leur préférer la version pour illettrés du test d'Ishihara qui présente des figures géométriques simples et des serpentins peu contournés. On demandera à l'enfant de les suivre avec un pinceau afin de ne pas détériorer le test (Fig. 1).

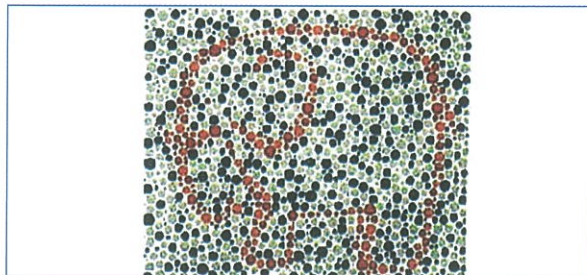
Figure 1 - Planche n° 31 du test d'Ishihara : serpent.



Il existe des PIC spécifiques pour les enfants. La seule disponible en France actuellement est le test de Matsubara. Il a l'inconvénient de présenter des symboles et des dessins dont la connotation asiatique peut être un obstacle à la compréhension des enfants de notre pays (Fig. 2).

Le plus important est cependant que les couleurs du test soient de bonne qualité et qu'elles reflètent le plus scrupuleusement possible celles des lignes de confusion. La précision la meilleure est obtenue avec les tests d'Ishihara.

Figure 2 - Planche du test de Matsubara.
Les dessins de ce test ne sont pas tous familiers aux enfants occidentaux.



On évitera soigneusement les tests plastifiés qui ont pu être mis à disposition et dont les couleurs sont si imprécises qu'elles engendrent un nombre redoutable de fausses interprétations.

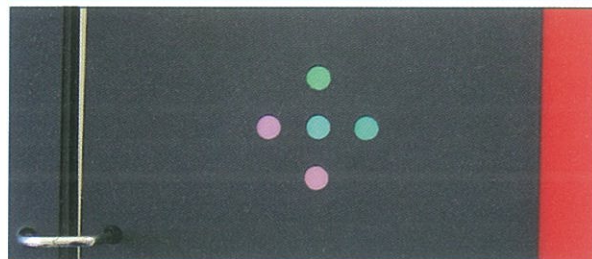
On pourra tenter d'utiliser le D15 standard de Farnsworth. Les résultats sont variables d'un enfant à l'autre avant 7 à 8 ans. Si l'on est exceptionnellement amené à tester un enfant très jeune (3 à 4 ans), incapable d'assumer la consigne de ne pas toucher les couleurs, on pourra tenter sous forme de jeu (former un petit train) de faire classer les pions d'un D15 saturé, déclassé, hors du plumier. Si la suite des pions est normale, le diagnostic de trichromatisme normal peut être porté. Dans le cas contraire, il convient de ne pas se prononcer et de proposer un nouveau test à un âge plus avancé.

Le City University Test peut être utile mais seulement les planches porteuses de pastilles suffisamment grandes (en pratique, planches 5, 6 et 7) (Fig. 3).

Il faut éviter le D15 désaturé trop difficile chez l'enfant.

On peut avoir de bonnes surprises avec l'anomaloscope contrairement à ce qui est habituellement admis. Les enfants sont maintenant très familiers des outils informatiques et les questions posées sont parfois bien comprises amenant à un diagnostic précis (on utilisera seulement l'équation de Rayleigh). L'écueil vient plutôt de la difficulté chez l'enfant à obtenir qu'il regarde correctement dans l'oculaire.

Figure 3 - Planche du CUCVT.
Même sur les planches 5 à 7, la taille des cercles colorés reste assez petite et la tâche demandée le plus souvent trop difficile pour l'enfant (désigner le cercle périphérique dont la couleur semble la plus proche de celle du cercle central).



Points forts

- Il faut s'efforcer de tester valablement la vision des couleurs de tous les enfants avant les orientations scolaires.
- Il est inutile de trop se presser. Mieux vaut attendre une année supplémentaire et faire un diagnostic irréfutable.
- L'Ishihara, le D15 standard permettront le plus souvent le diagnostic vers l'âge de 6 ans.

Les tests ergonomiques

Le devoir de l'ophtalmologiste est de savoir faire le diagnostic qualitatif et quantitatif de toute dyschromatopsie.

Il ne doit en aucun cas déclarer une aptitude scolaire ou professionnelle. Il n'en a d'ailleurs pas l'autorisation. Légalement, seuls en France sont habilités à déclarer ces aptitudes les médecins scolaires et les médecins du travail.

Ces aptitudes peuvent être déduites directement du diagnostic précis de la dyschromatopsie ou découler de la capacité du sujet à reconnaître in concreto les couleurs auxquelles il sera confronté dans sa vie professionnelle.

Dans ce cas, on utilise des tests spécifiques dont le plus connu est la lanterne de Beyne (Fig. 4).

Figure 4 - La lanterne de Beyne.



Tous les ophtalmologistes sont confrontés régulièrement à des demandes liées aux textes légaux en cours concernant les aptitudes dans les transports et l'armée. Ces textes mentionnent le plus souvent le test d'Ishihara et la lanterne de Beyne, plus accessoirement le test de capacité chromatique professionnelle (TCCP).

On ne redira jamais assez que les lanternes ne sont en aucun cas des instruments de diagnostic des dyschromatopsies.

Leur principe est de présenter au sujet testé des lumières calibrées qui sont celles qu'il aura à reconnaître dans son activité professionnelle.

Ce sont donc des tests exclusivement ergonomiques. Les lumières présentées seront d'ailleurs différentes suivant la profession pour laquelle est recherchée l'aptitude. Il existe des lanternes pour la marine, d'autres pour les chemins de fer, d'autres pour l'aviation (c'est d'ailleurs pour ce corps que la lanterne chromoptométrique de Beyne a été initialement créée en 1954).

Ces lanternes n'ont pratiquement plus aucun intérêt pour leur objet initial tant les conditions des transports ont changé. En revanche, par extension, elles sont restées indispensables pour la classification des aptitudes visuelles chez les militaires suivant le protocole SIGYCOP où la lettre Y correspond à la fonction visuelle ("yeux") et la lettre C à la perception colorée.

Disons clairement qu'il est strictement impossible pour l'ophtalmologiste d'établir une équivalence entre les tests diagnostiques qu'il utilise et les résultats de la lanterne de Beyne. Il est donc tout à fait indispensable de renvoyer les candidats aux centres qui possèdent ces lanternes et en particulier aux centres d'expertise médicale du personnel navigant (CEMPN).

Il existe actuellement trois centres militaires à Clamart, Bordeaux et Toulon et deux centres privés à Blagnac et Roissy. Ces centres disposent tous de lanternes de Beyne.

Nous reproduisons ici le texte légal qui s'applique au plan militaire pour la vision des couleurs.

INSTRUCTION N° 2100/DEF/DCSSA/AST/AME relative à la détermination de l'aptitude médicale à servir.

du 1^{er} octobre 2003 qui émane de la DIRECTION CENTRALE DU SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES : *sous-direction action scientifique et technique ; bureau aptitude médicale et expertise.*

CHAPITRE III.

SENS CHROMATIQUE.

Article 333. Généralités.

Le sens chromatique doit être étudié systématiquement à l'aide de la table pseudo-isochromatique d'Ishihara selon

un protocole bien déterminé, et en cas d'erreur ou d'hésitation, au moyen de la lanterne chromoptométrique de Beyne.

Article 334. Protocole d'examen.

La lecture des planches de la table pseudo-isochromatique d'Ishihara est effectuée à la lumière du jour ou sous un éclairage artificiel dit "lumière du jour", chaque planche étant présentée au maximum pendant deux secondes sous inclinaison de 45° sur l'horizontale.

L'examen à la lanterne chromoptométrique de Beyne comporte la présentation successive, dans la pénombre et à une distance de 5 mètres, de feux colorés simples sous une ouverture de quatre minutes d'angle pendant une seconde, l'objectif de l'appareil étant soumis à un éclairement de 1 lux.

Toute hésitation aura même valeur qu'une erreur caractérisée. Une réponse fautive même immédiatement rectifiée dans le délai d'une seconde doit être également considérée comme une erreur.

Article 335. Examens particuliers du sens chromatique.

Les candidats à certaines spécialités seront soumis à des épreuves sensiblement différentes qui sont spécifiées dans les conditions particulières d'admission (ouverture angulaire ou temps de présentation différents, épreuve des feux de confusion).

TABLEAU III

Article 336. Catégorisation des dyschromatopsies.

- a) Absence d'erreur à la lecture des tables d'Ishihara 1 C
- b) Erreurs à la lecture des tables d'Ishihara mais reconnaissance de tous les feux colorés de la lanterne de Beyne 2 C
- c) Erreurs dans la reconnaissance des feux colorés :
 - sans confusion franche entre les feux vert et rouge 3 C
 - confusion franche entre les feux vert et rouge mais TCCP satisfaisant 4 C
 - confusion franche entre les feux vert et rouge mais TCCP non satisfaisant 5 C

Les dyschromatopsies acquises, symptomatiques d'affection organique, feront également l'objet d'une cotation du sigle Y.

Article 337. Test de capacité chromatique professionnelle.

Le test de capacité chromatique professionnelle (TCCP) est utilisé pour préciser l'aptitude professionnelle de candidats à certaines spécialités classées C 4.

Points forts

- Les ophtalmologistes doivent diagnostiquer les dyschromatopsies, les qualifier et les quantifier.
- Ils ne sont pas légalement habilités à prononcer des aptitudes.
- Les tests ergonomiques ne permettent pas le diagnostic des dyschromatopsies.

Autres tests

Nous ne ferons que citer d'autres tests tels que les tests neuropsychologiques de la vision des couleurs qui sont exclusivement utilisés en milieu neurologique spécialisé, ainsi que des tests de laboratoire : méthode de Wald, de Stiles, fréquence critique de fusion, périmétrie statique colorée (qui a un regain d'intérêt dans la périmétrie bleu-jaune bien connue aujourd'hui pour sensibiliser la périmétrie automatique classique en testant principalement la voie konio et les cônes S à la recherche de déficits très précoces dans le glaucome), tests électrophysiologiques.

Les conditions générales d'examen de la vision des couleurs

J. Leid,
Pau

Lorsqu'un ophtalmologiste décide d'étudier la vision des couleurs d'un patient, il doit garder en mémoire que la fonction visuelle de ce patient dépend fortement de son environnement. L'être humain est doté d'une fonction de perception colorée qui n'a de sens que dans son environnement naturel c'est-à-dire à l'extérieur et de jour (entendre par là en vision photopique et sous la lumière du jour). Cet environnement n'est pas a priori celui d'un cabinet médical ! Il convient donc de réunir les conditions qui vont permettre de s'en approcher.

L'éclairage

Ce chapitre ne concerne évidemment que les tests pigmentaires. Deux aspects doivent être analysés, la qualité et la quantité de l'éclairage.

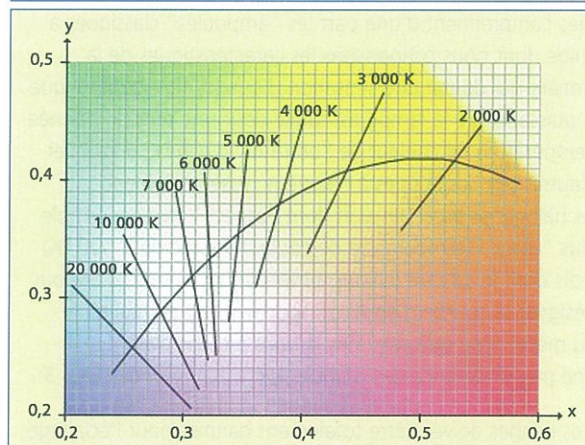
■ Aspect qualitatif

Nous devons tester nos patients sous un éclairage le plus proche possible de la lumière du jour moyenne, c'est-à-dire pour se référer à l'illuminant standard D65 de la CIE, la lumière rencontrée dans l'hémisphère Nord, à l'ombre, sous un ciel moyennement couvert, tourné vers le Nord, vers 10 h du matin, en automne. Sa température de couleur est de l'ordre de 6 500 °Kelvin.

La température de couleur d'une lumière correspond à des caractéristiques physiques précises et reproductibles que l'on peut repérer dans le triangle des couleurs.

La température de couleur de la lumière du jour est très variable selon les conditions d'horaire, de saison, de lieu et l'on peut considérer qu'une température de 5 000 °K est la limite inférieure à ne pas franchir pour l'étude de la vision des couleurs (Fig. 1).

Figure 1 - Température de couleur en degrés Kelvin. Situation apparente dans le triangle des couleurs.

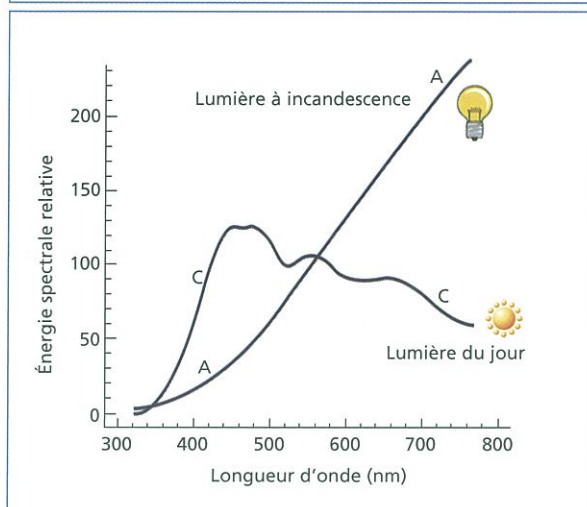


L'aspect qualitatif d'une lumière est représenté par la courbe d'émission spectrale de cette lumière.

La lumière du jour a une courbe d'émission spectrale moyenne bien connue suite à de nombreux relevés expérimentaux (Fig. 2).

Pour reproduire cette répartition énergétique, nous devons utiliser à l'intérieur de nos cabinets des sources de lumière

Figure 2 - Distribution de l'énergie spectrale des étalons A et C de la CIE (d'après Wyszecki et Stiles). Le spectre C correspond à la lumière du jour et le spectre A à la lumière à incandescence d'une lampe à bulbe.



artificielle dont les courbes sont très différentes selon leur catégorie.

Ce sont essentiellement les lumières incandescentes et fluorescentes (pour ce qui concerne les sources disponibles facilement dans le commerce).

Les lampes à incandescence

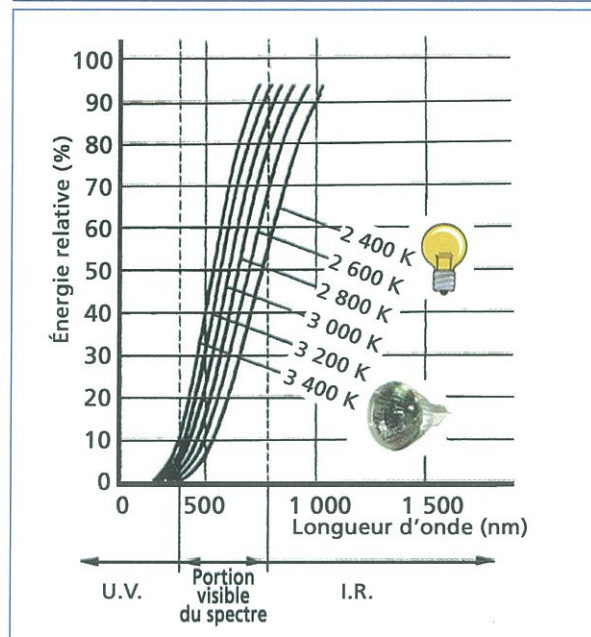
Elles comprennent d'une part les "ampoules" classiques à bulbe dont nous connaissons les caractéristiques de la lumière qui donne une sensation d'autant plus jaunâtre que la puissance de la lampe est faible pour une tension donnée (température de couleur de l'ordre de 2 700 °K) (Fig. 2) et d'autre part, les lampes à halogène, essentiellement les halogènes basse tension dont l'aspect lumineux semble plus "blanc" (température de couleur voisine de 3 000 °K) mais dont le spectre (ellipse terminologique commode pour désigner la courbe d'émission spectrale) est en réalité du même type que celui des lampes à bulbe avec une prépondérance des grandes longueurs d'ondes (Fig. 3).

Ces lampes doivent être totalement bannies pour l'éclairage des tests de vision des couleurs. Elles entraînent d'importantes pseudo-dyschromatopsies d'axe bleu-jaune rendant l'exploitation des résultats d'examen illusoire.

Les lampes fluorescentes

Elles sont connues sous l'ancien vocable de "néons". La technologie de ces lampes a beaucoup progressé (mélanges ternaires de poudres fluorescentes) et l'on peut aujourd'hui disposer de tubes dont les caractéristiques

Figure 3 - Spectre des lampes à incandescence. Il y a peu de différence dans la partie visible entre une lampe à bulbe et une lampe halogène basse tension.



colorimétriques sont très diverses. De plus la stabilité de ces lampes, grâce aux ballasts électroniques, a également fait l'objet d'améliorations importantes limitant notamment les effets de clignotement.

Le spectre de ces lampes est sans rapport avec celui des lampes à incandescence. Il s'agit d'un spectre associant des raies à une courbe de base. L'inhomogénéité de ces spectres n'est qu'apparente et les moyennes énergétiques dans les différentes portions du spectre s'apparentent en réalité à celles retrouvées dans le spectre de la lumière du jour (Fig. 4).

Ce sont donc ces illuminants qu'il faudra privilégier pour l'étude clinique de la vision des couleurs.

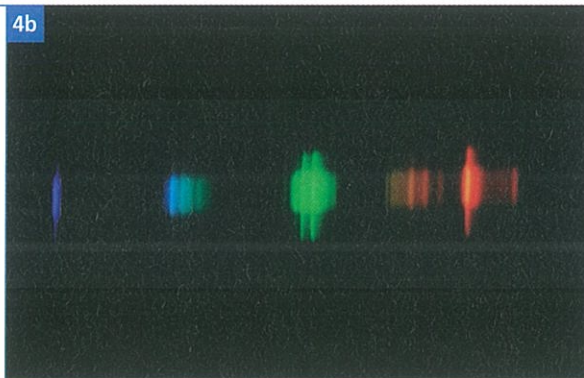
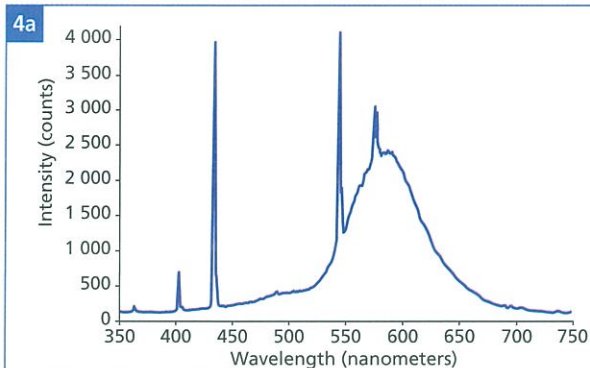
Depuis quelques années sont apparus des tubes fluorescents compacts qui sont en fait des tubes fluorescents contournés, dont les caractéristiques spectrales sont très proches de celles des lampes fluorescentes classiques (Fig. 5). Ils peuvent aussi être utilisés en première approximation pour une étude clinique basique de la vision des couleurs bien que l'on ne dispose pas encore de tubes compacts aussi performants en matière d'indice de rendu des couleurs (IRC) et de température de couleur (en degrés Kelvin) que les tubes droits de grand diamètre.

Pour se rapprocher de la lumière du jour, il est utile en effet de disposer de tubes dont l'IRC soit le plus élevé possible, au

Figure 4 - Spectre d'une lampe fluorescente.

4a - Courbe spectrale énergétique.

4b - Spectre expérimental montrant les "raies" caractéristiques de ce type d'illuminant.



moins supérieur à 90 et dont la température de couleur soit proche de celle de la lumière du jour (environ 6 500 °K, à défaut au moins 5 000 °K).

Il est facile de connaître approximativement ces paramètres car les fabricants de tubes ont adopté généralement la notation suivante à 3 chiffres, gravée sur les tubes : le premier chiffre donne la dizaine de l'IRC et les deux suivants indiquent la température de couleur en centaines de degrés Kelvin.

Les tubes les plus courants sont gravés 840 soit un IRC d'au moins 80 (en pratique 85) et une température de couleur de 4 000. Ils sont insuffisants pour l'étude clinique de la vision des couleurs. On leur préférera des tubes 860 ou 865 ou mieux mais plus difficiles à trouver des 950 ou 965.

Les tubes 950 auraient un IRC de 98 %.

La plupart des tubes fluocompacts sont de teinte 827 ce qui est insuffisant pour l'étude de la vision des couleurs.

Figure 5 - Lampe fluocompacte.

Ces lampes sont des tubes fluorescents qui ont l'avantage d'être utilisables sur des luminaires standards (culots à vis) mais leurs caractéristiques lumineuses sont un peu insuffisantes pour l'étude clinique de la vision des couleurs.



Les lampes à diodes électroluminescentes (DEL)

Elles sont d'usage récent. Elles sont appelées à prendre une part importante du marché en raison de leur longévité sans commune mesure avec les autres lampes et d'un rendement relativement satisfaisant.

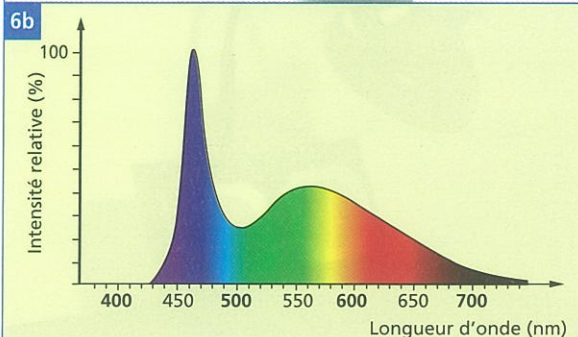
Leur spectre est celui d'une raie correspondant à la couleur de la diode qui les compose (rayonnement monochromatique). Il est donc exclu de les utiliser pour l'étude de la vision des couleurs (Fig. 6).

Figure 6 - Lampe à diodes. Une nouvelle technologie appelée à un grand avenir.

6a - Une lampe à diodes (culot grosse vis).

6b - Spectre d'une lampe à diodes dite "blanche".

On voit que l'essentiel de l'énergie se situe dans les courtes longueurs d'onde, rendant ces lampes impropres à l'usage clinique.



Il existe maintenant des lampes à DEL dites blanches. Ce sont soit des lampes contenant des DEL de plusieurs couleurs (expérimental, difficile à stabiliser), soit des lampes à DEL bleues recouvertes d'une couche de phosphore qui va engendrer un rayonnement jaune ; le blanc étant obtenu par la synthèse additive bleu + jaune.

Leur IRC est très insuffisant (< 75) et elles sont à proscrire. Le danger potentiel qu'elles représentent d'ailleurs pour l'intégrité de nos maculas reste à évaluer et étudier mais nous semble possiblement non négligeable.

Des voies de recherche existent pour améliorer les spectres et les IRC de ces lampes notamment des systèmes utilisant des diodes à UV recouvertes de différents phosphores.

La lampe de Macbeth

Bien qu'elle soit difficile à trouver en pratique et fort onéreuse, on ne peut passer sous silence la lampe de Macbeth qui reste la référence en matière de source lumineuse à utiliser pour l'étude de la vision des couleurs. Son spectre est en effet très proche de celui de la lumière du jour (en pratique il cherche à s'approcher de l'illuminant C dont le spectre est visible sur la figure 2). Il est obtenu par filtration de la lumière d'une simple lampe à incandescence (Fig. 7).

■ Aspect quantitatif

L'éclairage des tests pigmentaires doit être suffisant sans être éblouissant. Il s'exprime en *lux*.

Pour rester simple et concret, il est correct pour les sujets jeunes d'éclairer les tests avec 300 à 400 lux (une lampe calibrée de Macbeth donne 300 lux sur le plan de travail).

À partir de la cinquantaine, la diminution de transparence systématique, même si elle est inapparente, des milieux (en particulier du cristallin) doit faire préférer un éclairage de 500 à 600 lux afin d'éviter les faux positifs d'axe bleu-jaune.

■ En pratique

Afin de remplir facilement le cahier des charges qualitatif et quantitatif que nous venons d'exposer, le plus simple est d'utiliser une batterie de deux lampes fluorescentes classiques longues, à éclairage séparé, de bon IRC (si possible supérieur à 90) et de bonne température de couleur (au moins 5 000 °K). La mesure de l'éclairage sur le plan de travail sera faite avec un luxmètre par l'électricien. La distance des tubes à la table d'examen sera conditionnée par l'obtention d'une valeur de l'ordre de 300 lux avec un seul tube éclairé.

Les autres facteurs

■ L'environnement

- La pièce d'examen sera la plus calme possible.
- Le plan de travail sera choisi avec soin concernant l'aspect du matériau et sa couleur.

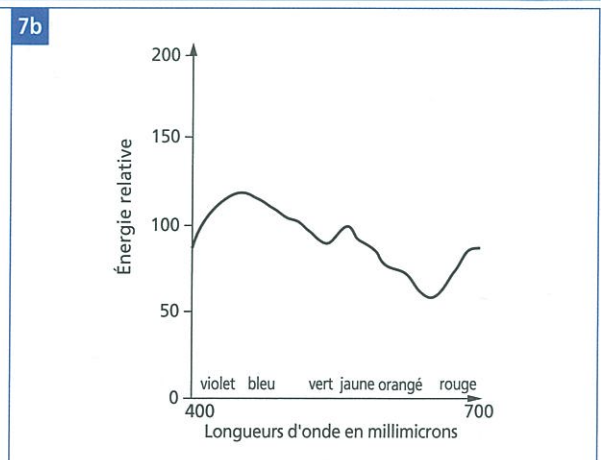
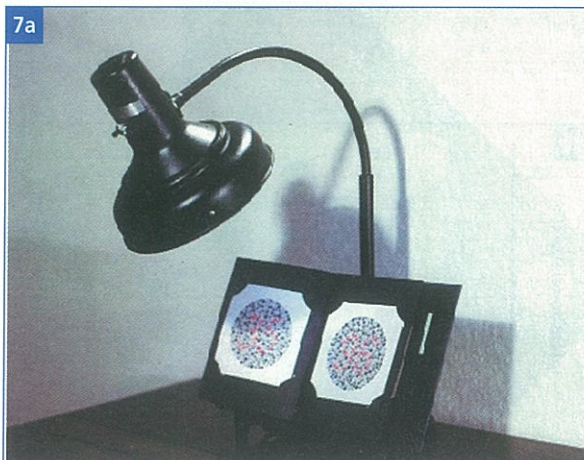
Le but est d'éviter les reflets et surtout les phénomènes de contrastes simultanés qui peuvent modifier significativement le résultat des tests.

Le fond de présentation sera à cet effet mat et d'une couleur neutre, au mieux un gris moyen, éventuellement un brun moyen.

Figure 7 - Lampe de Macbeth.

7a - Lampe de Macbeth éclairant un test d'Ishihara. Elle peut être facilement utilisée également pour éclairer les tests d'assortiment.

7b - Courbe spectrale d'une lampe de Macbeth. Elle est très proche de la lumière du jour (illuminant C de la CIE).



Cela peut être très facilement obtenu en déposant sur le plan de travail une grande feuille de papier à dessin, mate, de teinte adéquate ou une coupe de tissu analogue.

■ Le sujet

- La correction optique optimale est indispensable. Une réfraction récente doit être connue. Il faudra tenir compte de la distance réelle d'observation pour les presbytes.
- Les verres teintés, même légèrement, seront prohibés. Néanmoins, l'expérience montre que les teintures de classe 1 influencent peu le résultat des tests. L'idéal est d'utiliser les verres de la réfraction faite extemporanément sur des montures d'essai.
- Éviter d'éblouir le patient et d'instiller de la fluorescéine juste avant les tests.
- Le choix des tests mis en œuvre tiendra compte de l'acuité visuelle du sujet.
- La durée de présentation des tests sera raisonnable, permettant une bonne compréhension de l'examen mais pas de retours multiples sur les choix initiaux.

■ Les tests

Il faudra être particulièrement vigilant sur l'état de conservation des tests.

Les tests pigmentaires devront impérativement être conservés à l'abri de la lumière et les couleurs ne seront jamais manipulées avec les doigts.

Avant chaque test, l'examineur devra systématiquement et fermement rappeler que les couleurs ne doivent pas être touchées. Il lui faudra montrer au patient la façon de tenir les pions pour les tests d'assortiment et interdire de toucher les planches des PIC.

Pour les enfants, on utilisera un pinceau pour suivre les serpentins des PIC (idéalement, paraît-il, en poils de martre !) et il sera utile de disposer de tests d'assortiments anciens, déclassés, pour étudier la vision des couleurs de tout-petits en première approximation.

Il est de notre responsabilité de proposer des tests en excellent état au même titre que nous devons calibrer tous nos appareils de mesure. Les tests dont l'état est douteux seront donc déclassés et remplacés.

Points forts

Les tests de vision des couleurs doivent être pratiqués dans des conditions rigoureuses.

- Éclairage : lampes fluorescentes de fort IRC et de bonne température de couleur, 300 à 500 lux.
- Pièce calme, fond de présentation neutre et mat.
- Verres appropriés non teintés.
- Tests en bon état.

La vision des couleurs en pratique : stratégies

J. Leid,
Pau

Nous connaissons maintenant l'existence des différentes dyschromatopsies et savons les classer. Nous avons fait le tour des tests qui sont réellement à notre disposition pour les mettre en évidence et nous en avons compris les principes. Nous avons pris conscience que ces tests doivent être effectués dans des conditions bien codifiées. Il nous reste donc à mettre tout cela en pratique et à élaborer des stratégies simples et le plus reproductibles possible, applicables concrètement dans nos cabinets.

Les propositions qui sont exposées ici sont le reflet d'une méthode personnelle élaborée par l'auteur, largement pratiquée en cabinet privé et éprouvée de longue date. Elle lui a donné satisfaction mais, en tout état de cause, ne saurait être érigée en dogme et n'est qu'un exemple concret de ce que l'on peut mettre en place compte tenu des éléments théoriques exprimés dans les articles précédents.

Il ne peut plus être question aujourd'hui d'explorer la vision des couleurs en clinique en utilisant systématiquement comme autrefois des batteries de tests dont la globalité était analysée à la fin de la session, permettant la déduction d'un diagnostic. Ce serait une dépense de temps et d'énergie qui n'est plus de mise actuellement. C'est donc en termes de STRATÉGIES qu'il faut concevoir l'exploration de la vision des couleurs.

Trois principes fondamentaux nous paraissent essentiels pour l'élaboration de ces stratégies.

- 1 - L'examen ophtalmologique préalable du patient identifie l'objectif.
- 2 - L'objectif impose les moyens.
- 3 - Les résultats itératifs conditionnent la stratégie.

Examen préalable

Il ne saurait être question de se lancer dans l'étude de la vision des couleurs d'un patient à l'aveugle sans avoir une idée de ce que l'on cherche ni de l'état ophtalmologique et général du sujet. Il est par conséquent indispensable de pratiquer un examen ophtalmologique standard, suffisamment complet du patient avant toute chose.

- On identifiera d'abord la demande :
 - Recherche d'une DH ou d'une DA ?
 - Dans quel cadre : scolaire ou professionnel pour une DH, dépistage de principe, recherche diagnostique ou évaluation d'évolutivité pour une DA ?
- On colligera les antécédents oculaires et généraux à la recherche d'une pathologie potentiellement dyschromatogène et d'un traumatisme, même ancien.
- On recherchera une prise de médicaments ou de toxiques dyschromatogènes.
- Pour les DH, on interrogera sur les antécédents familiaux de daltonisme.
- On évaluera les problèmes généraux susceptibles de modifier notre stratégie (âge, problèmes de langue, capacités intellectuelles, problèmes de motricité des mains).
- L'examen ophtalmologique commencera comme toujours par une réfraction. Il n'est pas question d'étudier la vision des couleurs avec la correction optique apportée par le sujet sans avoir pris la précaution de vérifier sa validité et de voir si les verres sont teintés. Une correction adaptée (à la réfraction du jour et à la distance d'observation des tests) sera utilisée, en verres non teintés.
- L'acuité visuelle conditionnera l'usage de tel ou tel test.

- L'examen ophtalmologique permettra d'évaluer la transparence des milieux qui pourra influencer les résultats (essentiellement cataracte, surtout si elle est brune, et état du vitré, en particulier hémorragies discrètes).
- La pression intra-oculaire sera prise de préférence au tonomètre à air, en tout cas sans instillation de fluorescéine.
- L'état du fond d'œil (rétine et nerf optique) donnera de précieux renseignements pour l'évaluation des DA. On attendra la disparition de l'éblouissement pour commencer les tests colorés.

À l'issue de cette première étape, nous savons ce que nous cherchons, nous connaissons les conditions générales de notre examen et pouvons commencer l'exploration en connaissance de cause.

Deux stratégies sont fondamentalement différentes : la recherche des DH et celle des DA.

Recherche des DH : stratégie de base

Tout d'abord, ces dyschromatopsies étant bilatérales et symétriques, il est a priori inutile de tester œil par œil. Nous allons voir qu'il y a cependant dans ce cadre une bonne place pour les tests monoclaires. Nous ne parlons ici que des cas où il est exclu d'avoir une DA surajoutée.

■ Que doit faire l'ophtalmologiste ?

- Qualifier exactement la DH (voir classification) ; en pratique courante dichromate ou trichromate anormal et type d'axe protan ou deutan.
- Quantifier les trichromatismes anormaux.
- Éventuellement donner un avis sur les capacités scolaires et/ou professionnelles.
- Donner un conseil génétique.
- Informer des problèmes légaux.

■ Ce qu'il ne doit pas faire

- Donner un diagnostic approximatif type "anomalie d'axe deutan" ou "trichromatisme anormal"...
- Donner un diagnostic tranché s'il n'est pas sûr de celui-ci.
- Prononcer une aptitude (seuls les médecins scolaires et du travail sont en droit de le faire).

■ Les tests à utiliser

- Le test d'Ishihara (ou une bonne planche pseudo-isochromatique).
- Le D15 standard (éventuellement le 28 hue).
- Le D15 désaturé.
- L'anomaloscope.

■ Stratégie standard

On commence par l'Ishihara en vision binoculaire

S'il est normal il y a de grandes chances pour qu'il n'y ait pas de DH.

On n'accordera pas trop d'importance au nombre de planches non ou mal lues. Une DH légère peut parfaitement entraîner un Ishihara très perturbé.

On ne tiendra donc pas compte du nombre d'erreurs pour poser le diagnostic d'anopie ou d'anomalie (trichromatisme anormal).

On peut se donner une première idée du type d'axe avec les planches de la série 22 à 25. Ce ne sera qu'une simple indication.

On propose ensuite le D15 standard en binoculaire

- S'il est normal et que l'Ishihara est normal, on peut considérer en première intention qu'il n'y a pas de DH.
- S'il comporte au moins une erreur, même si l'Ishihara est normal, on suspecte la présence d'une DH.
 - Si son type d'axe est évident, le diagnostic est posé, l'examen terminé.
 - S'il y a un doute sur le type d'axe, on s'aidera des planches de la série 22 à 25 de l'Ishihara et au besoin, on pratiquera le même test en vision monoculaire. Bien souvent cela permettra de résoudre le problème.
 - Si ce n'est pas le cas, on pourra utiliser d'autres tests saturés, 28 hue, 100 hue ou éventuellement désaturés (D15D) mais avec le risque qu'ils soient ininterprétables.
 - En dernier recours, l'anomaloscope tranchera très facilement.
- S'il y a entre 2 et 6 axes de confusion transversaux, on est probablement en présence d'un trichromatisme anormal. On pratiquera alors volontiers le même test D15 standard en monoculaire ce qui permettra de porter un diagnostic précis le plus souvent par confrontation des 3 schémas obtenus (1 D15 bino et 2 D15 mono).

- Si un doute persiste, on pourra proposer un D15 désaturé en binoculaire si le nombre d'axes est important ou directement en monoculaire s'il est faible.
- S'il n'y a qu'un axe transversal, on pratiquera d'emblée un D15 désaturé en monoculaire pour sensibiliser le test au maximum.
- Dans tous les cas l'anomaloscope tranchera en cas de doute persistant. À défaut le 100 hue pourra être également fort

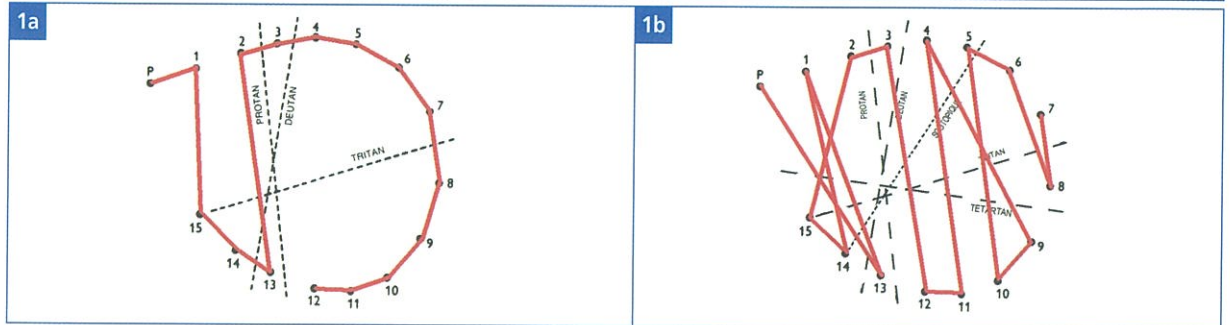
utile à la condition de bien connaître l'emplacement exact des pics pour les axes protan et deutan.

- Il faut toujours commencer par le D15 saturé en binoculaire et non pas le désaturé car, en cas de trichromatisme anormal extrême, il peut y avoir confusion sur les résultats du D15D avec un dichromatisme (Fig. 1).

Figure 1 - Protanomalie moyenne.

1a - D15 standard en binoculaire. Ce test suffit à porter le diagnostic.

1b - D15 désaturé en binoculaire. Ce schéma peut faire penser à une protanopie. Si ce test avait été effectué en premier lieu, le risque d'erreur de diagnostic aurait été grand.



Note : nous voyons que, dans cette stratégie, ce sont bien les résultats itératifs de chaque test qui ont amené la suite logique du déroulement des examens, conformément à notre troisième principe fondamental. Il s'avère ainsi impossible de confier le déroulement de l'examen à une personne qui ne connaîtrait pas parfaitement les dyschromatopsies et ne serait pas en mesure d'interpréter valablement chaque test.

Cas particulier

On est en présence idéalement d'un sujet mâle, jeune, ayant 10/10 sans correction ODG, sans aucune pathologie associée susceptible de donner une DA. Les premiers éléments montrent sur le D15 désaturé un discret axe rouge-vert mais aussi, associé, un discret axe bleu-jaune (Fig. 2). Le D15 standard est souvent normal, l'Ishihara montre un certain nombre d'erreurs. L'anomaloscope ou le 100 hue confirment l'existence d'anomalies à minima intéressant à la fois les courtes et les grandes longueurs d'onde. (Fig. 3).

Figure 2 - Faible Discrimination Colorée : FDC.

2a - FDC avec le D15 désaturé en binoculaire. L'axe transversal n'est ni protan ni deutan et il existe un axe curieux plutôt bleu-jaune. Le D15 standard binoculaire est strictement normal mais il y a des erreurs à l'Ishihara ce qui explique la poursuite de la recherche.

2b et 2c - FDC avec le D15 désaturé en monoculaire (OD et OG). On retrouve des axes rouge-vert protan et deutan mais aussi des axes bleu-jaune plutôt tétartan. En dehors de toute pathologie cela ne peut rentrer dans le cadre d'un daltonisme ordinaire.

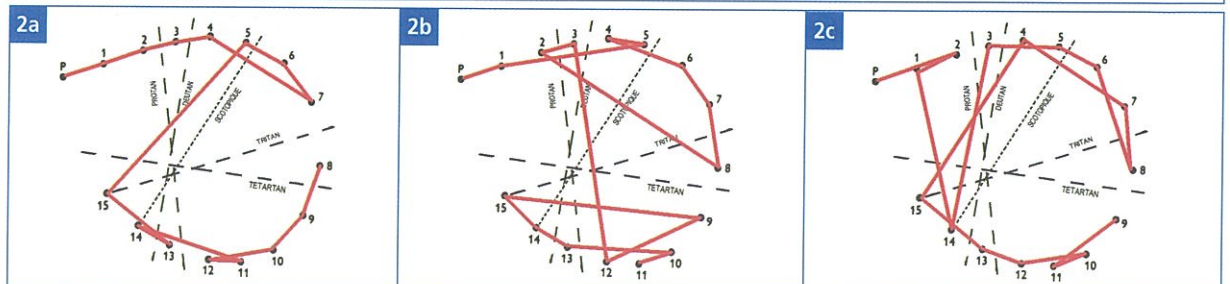
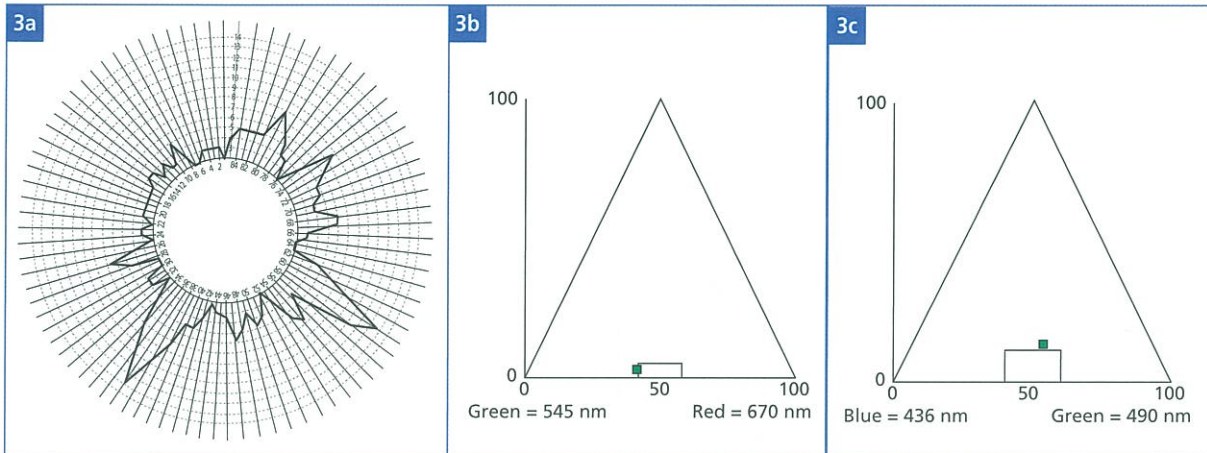


Figure 3 - FDC 100 hue et anomaloscope.

3a - 100 hue : on voit des pics indiquant des déficits essentiellement tétartan et deutane.

3b et 3c - Anomaloscope : 3b équation de Rayleigh. 3c équation de Moreland. Les équations sont proches des zones normales mais toutefois légèrement en dehors (schéma de notation selon Roth).

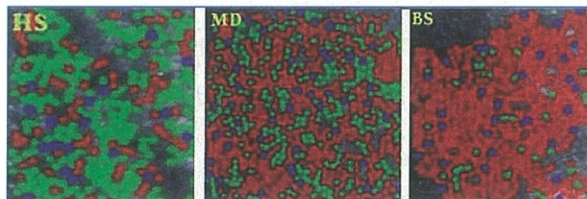


Il s'agit probablement d'un sujet atteint de "Faible Discrimination Colorée" (FDC) entité décrite de longue date ("*low discrimination*" des Anglo-Saxons), qui est loin d'être rare (les statistiques sont cependant fort variables, Verriest en trouvait jusqu'à 16 % chez les dyschromates). On a du mal à classer ces patients en tant que sujets normaux ou sujets réellement dyschromates.

Il est un fait que ces sujets peuvent commettre des confusions colorées dans des conditions difficiles (teintes désaturées, ambiance mésopique) et donc qu'ils ne peuvent être déclarés aptes par les praticiens agréés pour des postes à fort potentiel de risque coloré (pilotes aviation, marine, chemins de fer, etc.). Ils seront de toute façon légalement éliminés car leur Ishihara est anormal. Cependant, dans l'immense majorité des cas, leur déficit est parfaitement compatible avec la plupart des tâches. Ils devront être informés de cette légère déficience. À titre personnel, je ne suis pas favorable à l'idée de les classer parmi les daltoniens.

Ce type de déficience reste difficile à expliquer malgré les progrès de la génétique moderne. Toutefois, on ne peut s'empêcher de la confronter à la forte dispersion de la proportion des cônes dans la rétine in vivo, comme cela a été tout dernièrement démontré par les techniques d'imagerie par optique adaptative (Fig. 4). Il est tout à fait possible que les sujets présentant une densité faible de cônes dans leur rétine centrale soient moins performants que les autres et rentrent dans ce cadre de FDC. Cela reste cependant à prouver par confrontation entre ce phénotype et l'imagerie rétinienne fine.

Figure 4 - Répartition des différents types de cônes S, M et L, directement visible grâce aux techniques d'optique adaptative. On constate qu'elle est très variable d'un sujet à l'autre (Hofer H. et al. Organization of the human trichromatic cone mosaic. *J Neurosci.* 2005 : 9, 669-79).



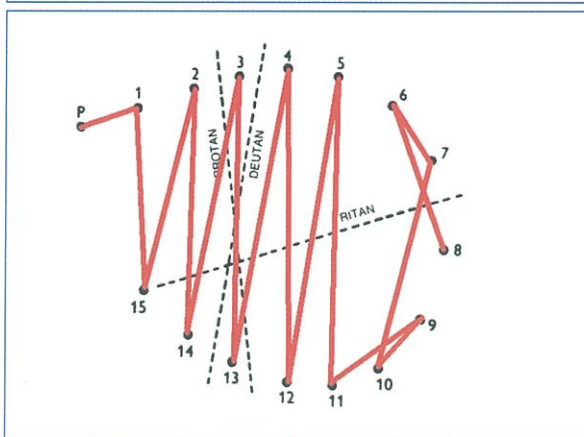
■ Exemples concrets

1^{er} cas

Mathieu L., 15 ans, acuité 10/10 ODG sans correction, examen ophtalmologique normal, recherche de DH pour orientation scolaire après découverte de très nombreuses erreurs à l'Ishihara.

On commence par un D15 standard (D15ST) en binoculaire (Fig. 5).

Figure 5 - D15 Standard binoculaire : évoque une anopie, le type d'axe est incertain.

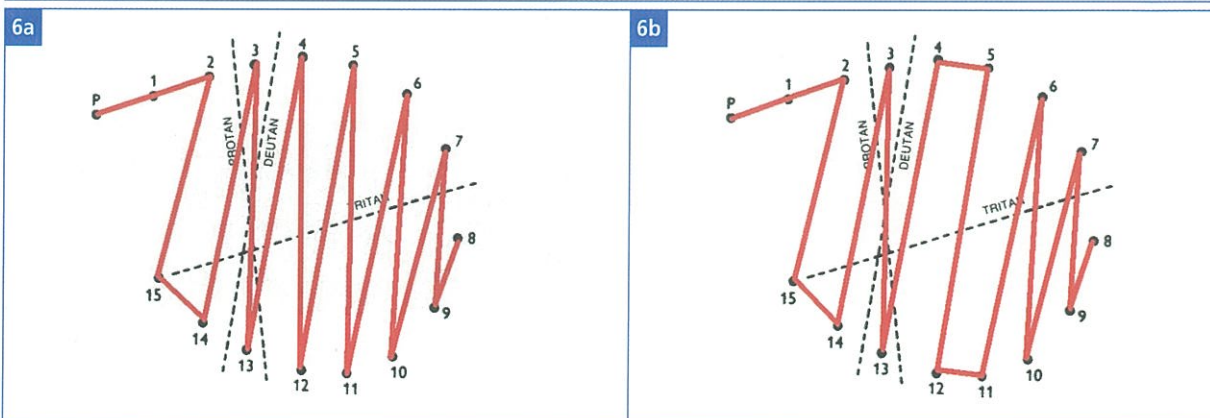


On cherche à affiner le diagnostic en faisant un D15ST en monoculaire. En effet un D15 désaturé aurait toutes les chances d'être illisible eu égard à l'importance de la dyschromatopsie (Fig. 6).

Figure 6 - D15 standard monoculaire.

6a - OD confirme l'anopie. L'axe deutan paraît plus évident.

6b - OG l'axe deutan est bien confirmé sans ambiguïté. Il s'agit bien d'une deutéranopie.



2^e cas

David B., 19 ans, acuité 10/10 ODG sans correction, examen ophtalmologique normal, recherche de DH pour orientation scolaire après découverte de nombreuses erreurs à l'Ishihara.

On commence par un D15 standard (D15ST) en binoculaire (Fig. 7). La discrétion de la dyschromatopsie nous incite à proposer ensuite d'emblée un D15 désaturé en binoculaire (Fig. 8).

Figure 7 - D15 Standard binoculaire.
Une erreur donc pathologique. On suspecte un trichromatisme anormal léger. Le type d'axe est incertain.

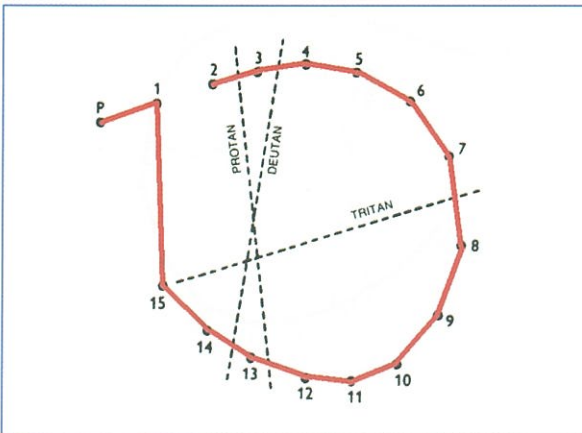
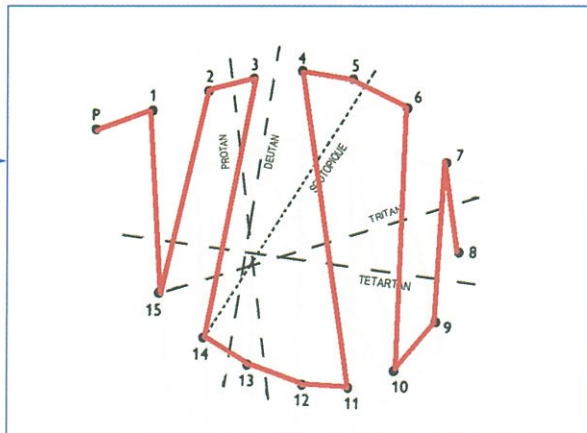
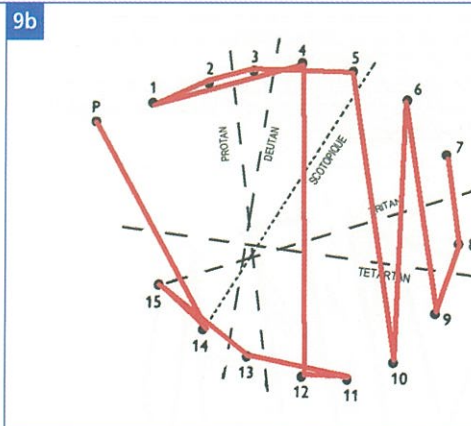
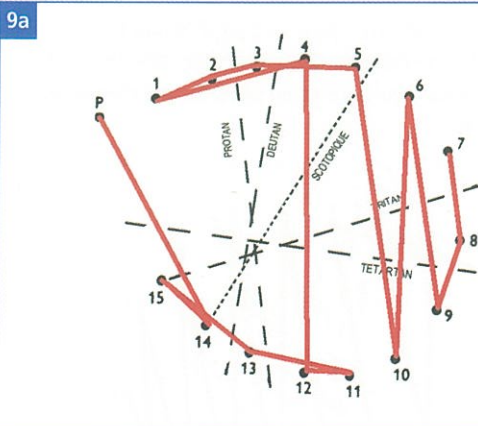


Figure 8 - D15 Désaturé binoculaire.
Le trichromatisme anormal est confirmé. Le type d'axe demeure incertain.



Pour tenter de trouver le type d'axe, on propose ensuite un D15D en monoculaire (Fig. 9).

Figure 9 - D15 Désaturé monoculaire.
9a - Le schéma de l'œil droit n'apporte pas la solution.
9b - Celui-ci de l'œil gauche non plus. L'axe demeure incertain.



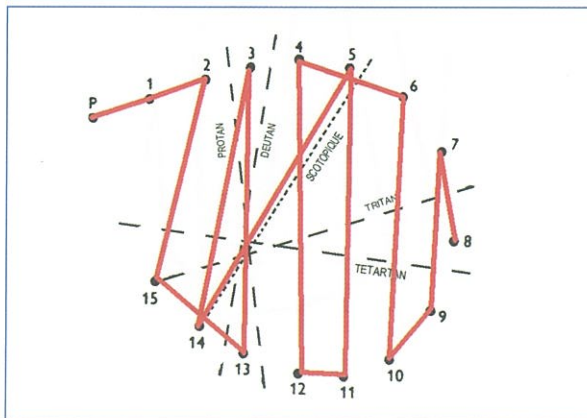
Les tests simples ont permis de poser le diagnostic certain de trichromatisme anormal d'intensité moyenne, mais pas de connaître le type d'axe. Il faut s'aider d'autres tests. On pourrait proposer un 28 hue, un 100 hue. Nous avons pratiqué un anomaloscope qui a montré qu'il s'agissait d'une deutéranomalie.

3^e cas

Michel K., 17 ans, acuité 10/10 ODG sans correction, examen ophtalmologique normal, recherche de DH pour orientation scolaire après découverte de quelques rares erreurs à l'Ishihara.

L'Ishihara étant peu perturbé on a choisi de commencer par un D15 désaturé en binoculaire (Fig. 10).

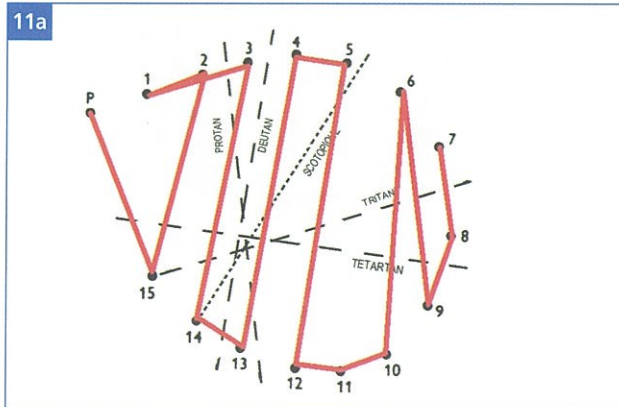
Figure 10 - D15 Désaturé binoculaire.
Le schéma évoque une anopie mais l'axe reste incertain.



On propose pour trouver l'axe un D15D en monoculaire (Fig. 11).



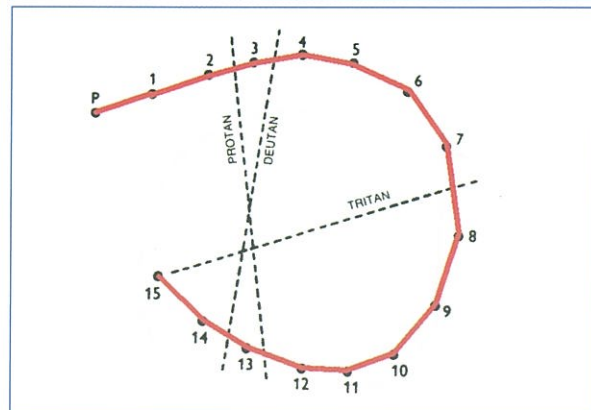
Figure 11 - D15 Désaturé monoculaire.
11a - OD : la dyschromatopsie est sévère mais la présence de la suite normale 12-11-10 rend l'anopie improbable. L'axe est franchement deutan. Le diagnostic suspecté est celui de deutéranomalie extrême.
11b - OG : le schéma est à nouveau celui d'une anopie. L'axe deutan est probable. Ce tracé évoque plutôt une deutéranopie.



On propose alors un D15 standard pour tenter de trancher entre anopie et anomalie sévère (Fig. 12).



Figure 12 - D15 Standard binoculaire.
Le test est strictement normal.



L'ensemble des examens ainsi pratiqués permet de porter le diagnostic de deutéranomalie moyenne.

Cet exemple montre de façon absolue que la stratégie présentée n'était pas la bonne. Il ne faut JAMAIS commencer les tests par un D15 désaturé quand on recherche une DH, même s'il y a peu d'erreurs à l'Ishihara. En effet, le risque de diagnostiquer faussement une anopie est loin d'être négligeable, comme nous le voyons ici. De plus, la surprise de voir un test saturé strictement normal permet de rectifier l'appréciation quantitative et de tempérer l'idée de dyschromatopsie extrême donnée par les D15D. L'examen à l'anomaloscope confirme bien qu'il s'agit d'une forme moyenne et non sévère de deutéranomalie avec un quotient d'anomaloscopie assez peu élevé et un point moyen d'égalisation à environ 75 %.

Recherche des DA : stratégie de base

Le problème des DA est très différent. La recherche d'une DA peut rentrer dans le cadre d'une étude systématique dans certaines pathologies (diabète, SEP, hérédo-dégénérescences, etc.) ; elle peut faire partie du bilan d'une toxicité potentielle, en particulier médicamenteuse (APS, antituberculeux, vigabatrine, etc.) ; elle sera également effectuée dans le cadre du suivi d'une pathologie connue ; enfin, elle peut être faite au cours d'un bilan d'exploration fonctionnelle en quête d'un diagnostic ophtalmologique (par exemple suspicion d'une neuropathie optique en cas de baisse d'acuité visuelle sans cause anatomique apparente).

Suivant le cas, l'examineur sera donc amené à rechercher une dyschromatopsie dont l'axe sera soit suspecté (axe bleu-jaune dans un diabète débutant par exemple), soit totalement inconnu (bilan d'une neuropathie optique). L'importance quantitative de la DA recherchée sera le plus souvent inconnue, il faudra en tenir compte dans le choix des tests.

Souvenons-nous enfin que les DA ne sont a priori jamais symétriques et qu'elles ne doivent JAMAIS être testées binoculairement.

■ Que doit faire l'ophtalmologiste ?

- Qualifier la DA.
- Quantifier la DA.
- Évaluer la pertinence des diagnostics des pathologies en cause par rapport à la DA.
- Donner un compte rendu circonstancié au prescripteur.

■ Que doit-il éviter ?

- Fournir une évaluation imprécise de la DA.
- S'en tenir à la seule vision des couleurs sans poursuivre d'autres investigations paracliniques au prétexte que la DA serait révélatrice à elle seule d'une pathologie donnée.
- Passer à côté d'une DH associée.

■ Les tests à utiliser

- Le D15 désaturé : de façon systématique.
- Les tests saturés D15, 28 hue : en cas de DA sévère.
- Le 100 hue, le New Color Test, si l'on en dispose : assez exceptionnellement.
- L'anomaloscope (méthode des deux équations colorées) : si l'on en dispose.

- L'Ishihara : seulement pour éliminer une DH associée.

Il faut retenir avant tout que :

- les DA débutantes n'intéressent que les couleurs désaturées. Les tests désaturés sont donc toujours à utiliser en première intention ;
- les caractéristiques colorimétriques des DA sont éminemment variables tant dans l'orientation des axes de confusion que dans la position et l'importance des zones neutres ;
- les PIC ont un intérêt extrêmement limité dans la recherche des DA du fait même de ces caractéristiques colorimétriques (ce sont en effet des tests "fermés") ;
- une DH peut toujours être associée à une DA et rendre le diagnostic difficile ;
- les tests saturés peuvent être utiles pour "faire ressortir" des axes dans une DA sévère.

■ Stratégie standard

Sauf cas particulier reconnu au préalable, on commencera par un D15 désaturé en vision monoculaire

Il donnera d'emblée une idée du type de la DA et de son intensité. Il permettra de suspecter l'existence d'une DH associée importante.

Le plus souvent l'examen du relevé du D15D sera suffisant pour porter le diagnostic.

Si une DA d'axe rouge-vert est découverte

Il faut impérativement éliminer une DH associée. Pour cela, si cela n'a pas été fait au préalable, on proposera, à la suite de cette constatation, un test d'Ishihara sachant que cela n'est pas toujours suffisant.

Il faudra toujours confronter les résultats des tests avec les hypothèses de DA attendues.

Un axe rouge-vert important chez un diabétique jeune qui voit 10/10 et dont le fond d'œil est normal a toute chance d'être héréditaire. Il n'en va pas de même d'un axe rouge-vert plus modéré chez un diabétique porteur d'une rétinopathie importante avec un œdème maculaire.

Le plus difficile est évidemment l'association d'une DA d'axe rouge-vert et d'une DH.

L'anomaloscope

En utilisant la méthode des deux équations colorées, il sera un appoint précieux car il est à la fois qualitatif et quantitatif.

Dans le cadre du suivi d'une DA chez un patient connu

Il faudra toujours utiliser les mêmes tests, pratiqués dans les mêmes conditions.

Exemples concrets

1^{er} cas

Lydie C., 66 ans, diabète non insulinotraité depuis 30 ans, 10/10 ODG (Fig. 13). Évolution de la rétinopathie diabétique et conjointement de la DA (Fig. 14).

Figure 13 - (Rétinographie et D15D, OD a et c, OG b et d). Rétinopathie diabétique, D15D : ODG 3 à 5 axes de confusion bleu-jaune tritan et tétartan (axes mixtes) sont relevés sur chaque œil : il s'agit d'une DA d'axe bleu-jaune d'intensité moyenne, bilatérale (type III de Verriest).

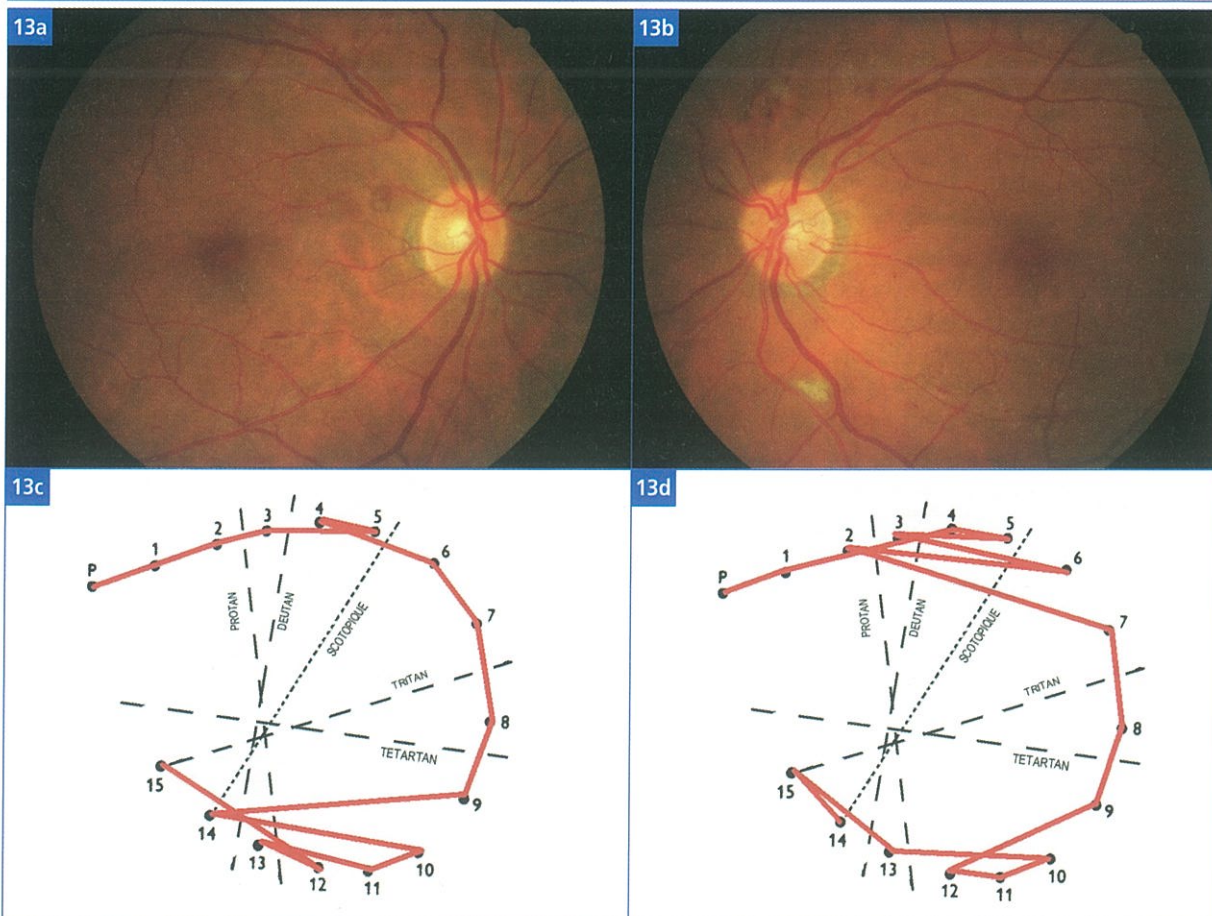
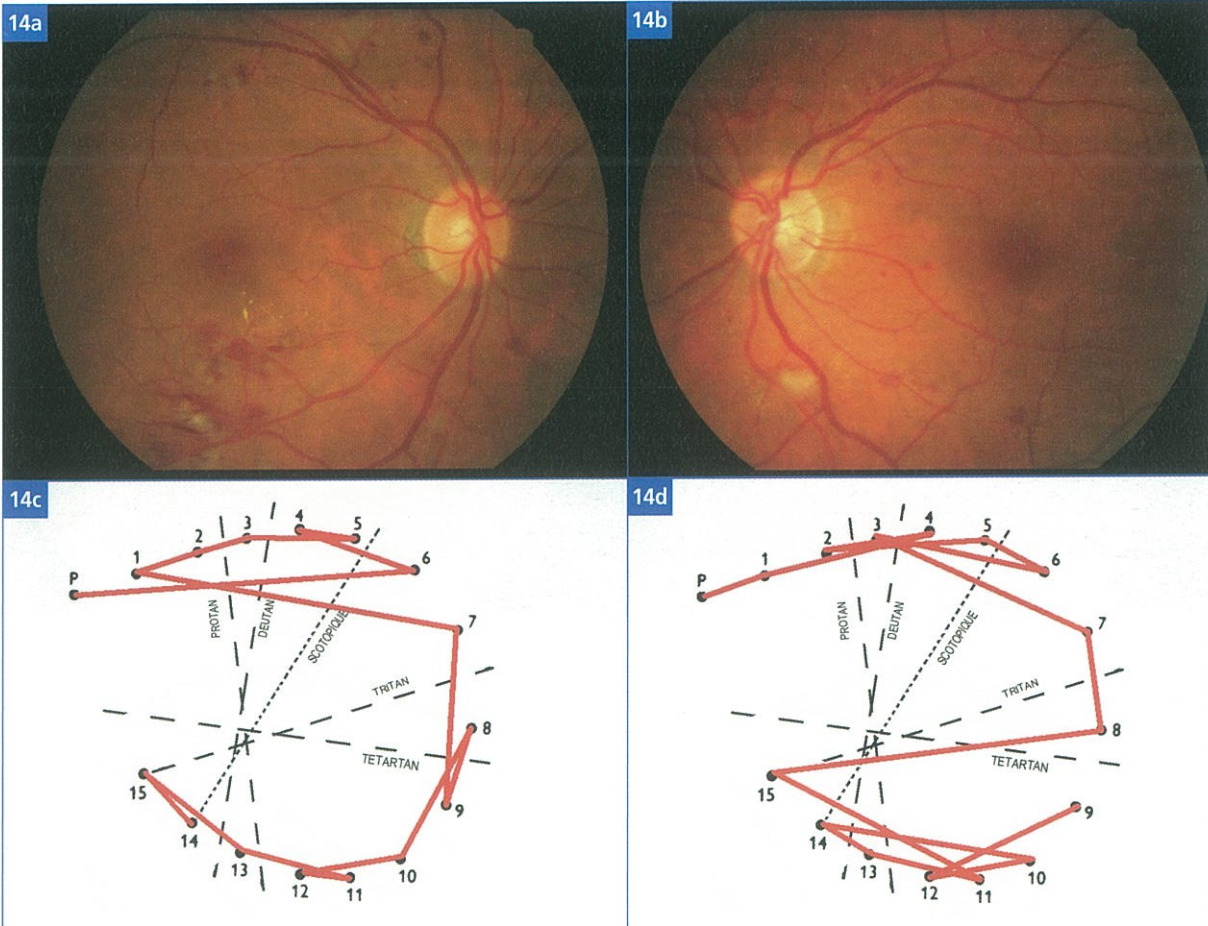


Figure 14 : Même patient que sur la figure 13 mais 2 ans après. (Rétinographie et D15D, OD a et c, OG b et d).
 Rétinopathie diabétique, D15D
 OD axe bleu-jaune + axe rouge-vert. Le classement 7-9 n'est pas anecdotique, il doit bien être interprété comme un axe rouge-vert étant donné la position des pions du D15D dans le diagramme de chromaticité. Cet axe rouge-vert est à imputer à la maculopathie débutante. On observera que, malgré l'aggravation manifeste de la rétinopathie, l'intensité de la dyschromatopsie bleu-jaune paraît moindre qu'à la figure 13c. OG axe mixte tritan-tétartan un peu plus important quantitativement que sur la figure 13d.



Devant ce contexte, le seul relevé du D15D en monoculaire suffit au diagnostic qualitatif et quantitatif.

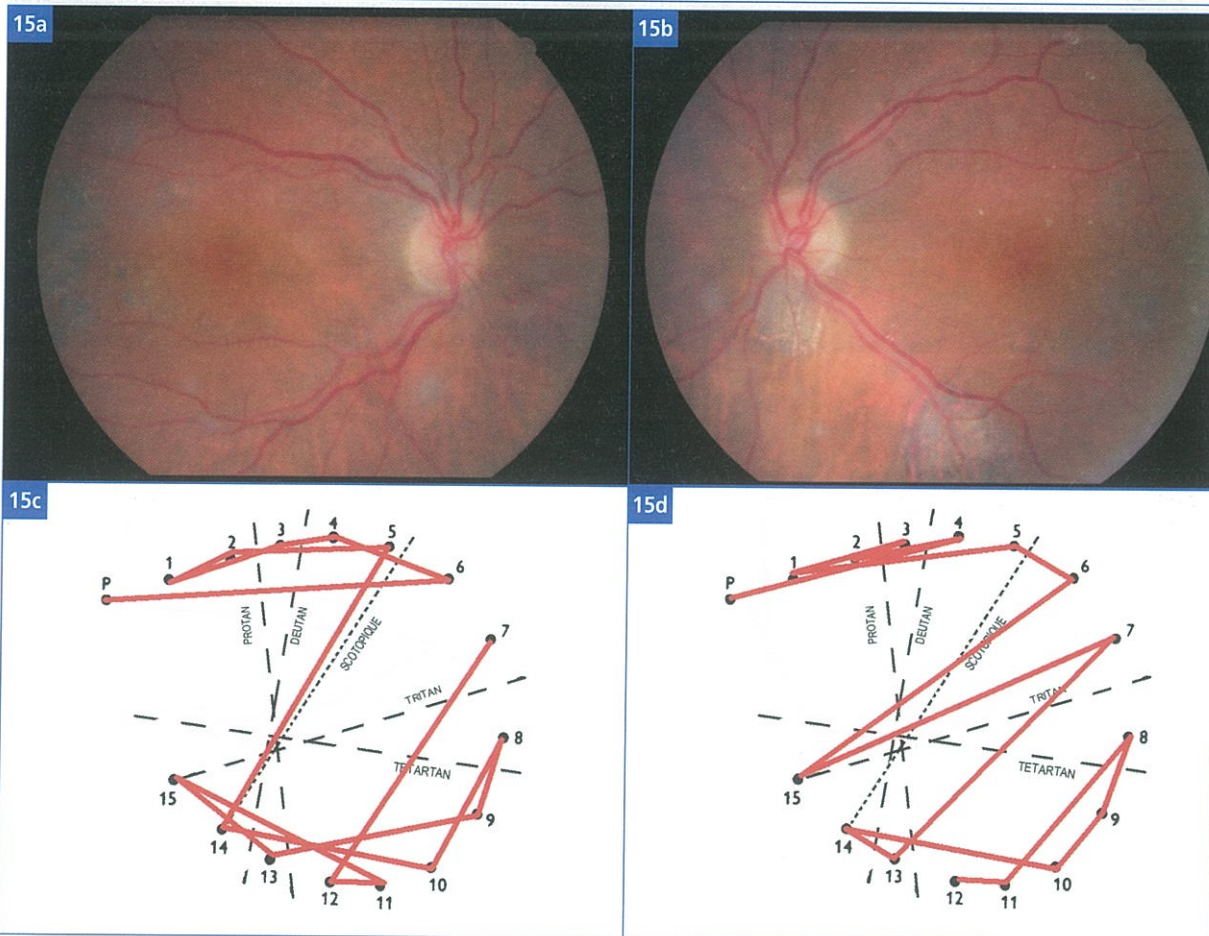
2^e cas

Gabrielle C., 55 ans, diabète insulinotraité depuis l'âge de 5 ans. OD 5/10, OG 7/10. Traitée par grille maculaire suite à une maculopathie œdémateuse sévère ayant entraîné une baisse d'acuité visuelle bilatérale à 1/10, ayant récupéré par la suite (Fig. 15).

Figure 15 - (Rétinographie et D15D, OD a et c, OG b et d)

Axe scotopique bilatéral. Les schémas de résultats montrent la présence bilatérale de plusieurs axes de confusion de direction scotopique.

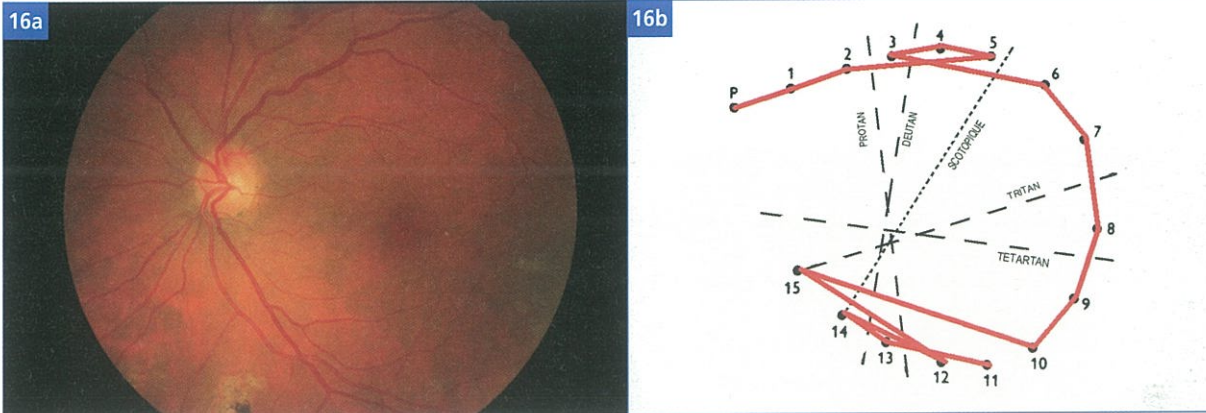
Il s'agit là d'une véritable achromatopsie acquise. Elle traduit l'atteinte de tous les mécanismes colorés. Le bleu, touché dès le début de la maladie puis le vert et le rouge altérés définitivement à la suite de l'épisode de maculopathie sévère, même si le laser a permis une récupération visuelle notable.



3^e cas : association de 2 DA.

Élisabeth T., 58 ans, diabète non insulinotraité depuis plus de 20 ans. OG acuité 10/10 avec une DA de type III de Verriest classique (Fig. 16).

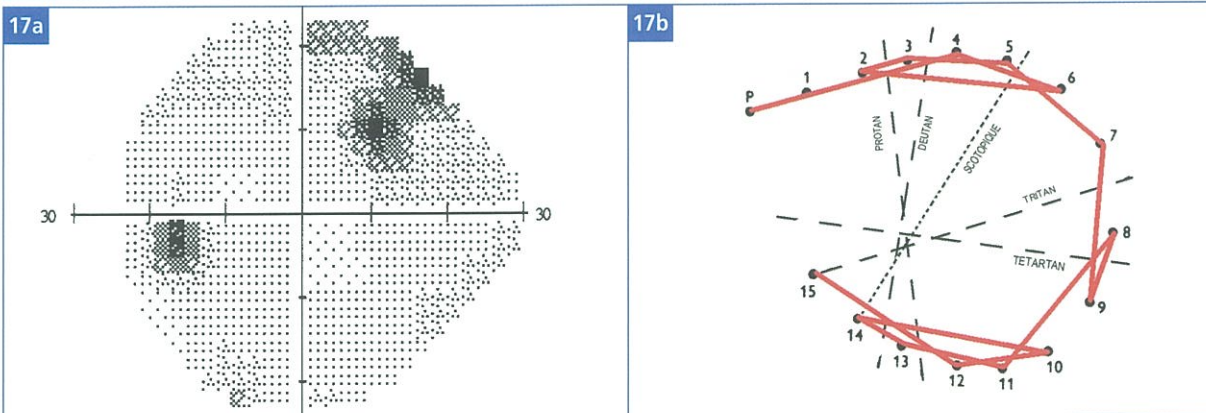
Figure 16 - D15 Désaturé. Rétinopathie diabétique. Axe bleu-jaune de type tétartan (type III de Verriest).



Quelques mois plus tard, l'acuité visuelle chute à 7/10.

À la DA d'axe bleu-jaune s'associe une DA d'axe rouge-vert (inversions 7-9 et 8-11) (Fig. 17) qui oriente le diagnostic. Le fond d'œil étant strictement inchangé, l'apparition de cette DA d'axe rouge-vert laisse fortement suspecter la survenue d'une neuropathie optique diabétique sur cet œil.

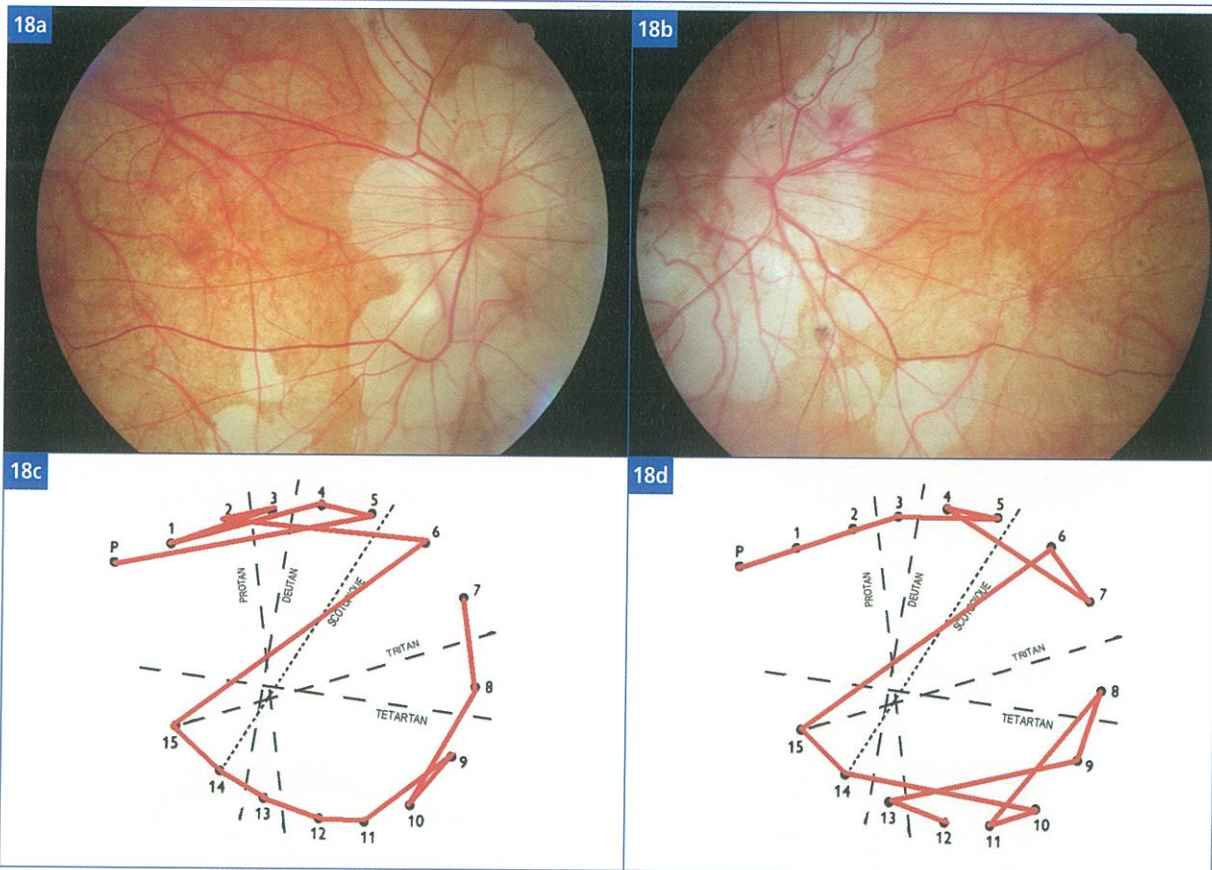
Figure 17 - (Champ visuel et D15D OG). Association de 2 DA chez un patient diabétique : DA d'axe bleu-jaune liée à la rétinopathie + DA d'axe rouge-vert liée à une neuropathie optique diabétique. On observera à nouveau l'importance significative de l'axe 7-9.



4^e cas

Goeffroy V., 65 ans, primitivement myope de -20, pseudophrake (implant traité UV non teinté), acuité 5/10 ODG (Fig. 18).

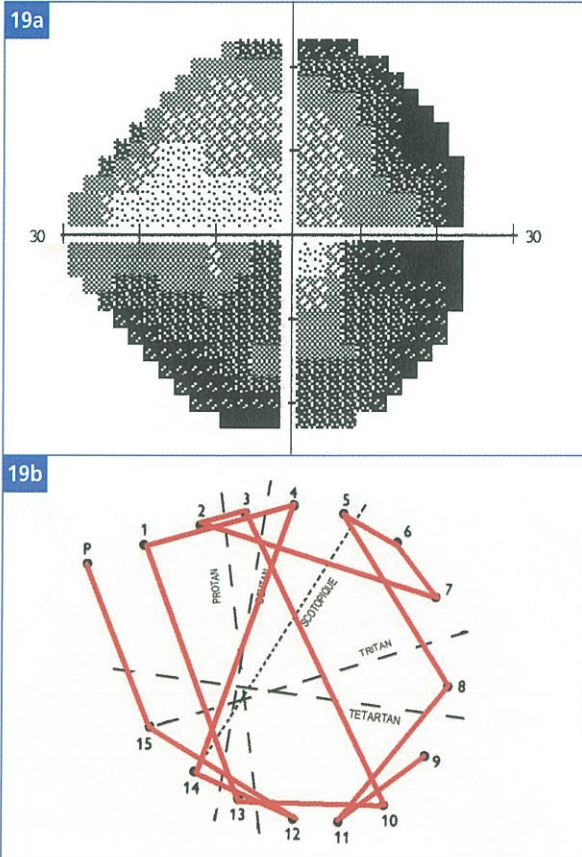
Figure 18 - Myopie forte D15 Désaturé. Axe intermédiaire entre tritan et scotopique, assez fréquent dans la myopie forte. Cet exemple montre bien que la direction des axes de confusion dans les DA est très variable et ne saurait être calquée sur celle des DH.



5^e cas

Andréa C., 41 ans, OD 7/10 sclérose en plaques avérée, nouvelle poussée s'ajoutant à d'importantes séquelles de poussées antérieures de neuropathie optique (Fig. 19).

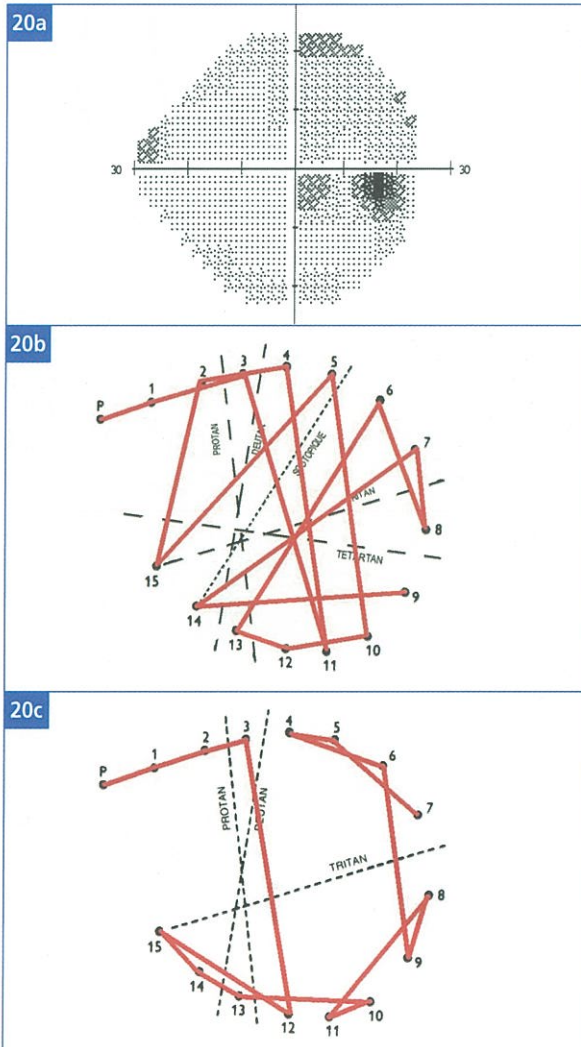
Figure 19 (19a champ visuel, 19b D15D monoculaire) SEP neuropathie optique.
Le D15D montre un axe rouge-vert type I de Verriest relativement fréquent contrairement à ce qui est classiquement dit (type II). On pourrait aussi avoir un important axe bleu-jaune de type III de Verriest.



6^e cas

Chrystelle N., 35 ans, baisse d'acuité récente à 3/10, première poussée de sclérose en plaques : on réalise d'emblée un D15 désaturé, puis devant la difficulté d'interprétation un D15 standard (Fig. 20).

Figure 20 (20a champ visuel, 20b D15D, 20c D15 St)
Intérêt des tests saturés dans les DA.
SEP : le D15 Désaturé montre de nombreux axes d'orientation anarchique rendant son interprétation difficile (tracé dit "sans axe"). La réalisation du D15 Standard permet de faire ressortir la DA d'axe rouge-vert de type I de Verriest, telle qu'on la retrouve souvent dans la SEP (voir Figure 19).
Cet exemple montre l'intérêt des tests saturés dans les DA sévères. Il montre aussi qu'un schéma "sans axe" trouvé avec un test désaturé, évoquant une anarchie totale, peut, le plus souvent, être décrypté, à la condition de pratiquer par la suite un test saturé.



7^e cas

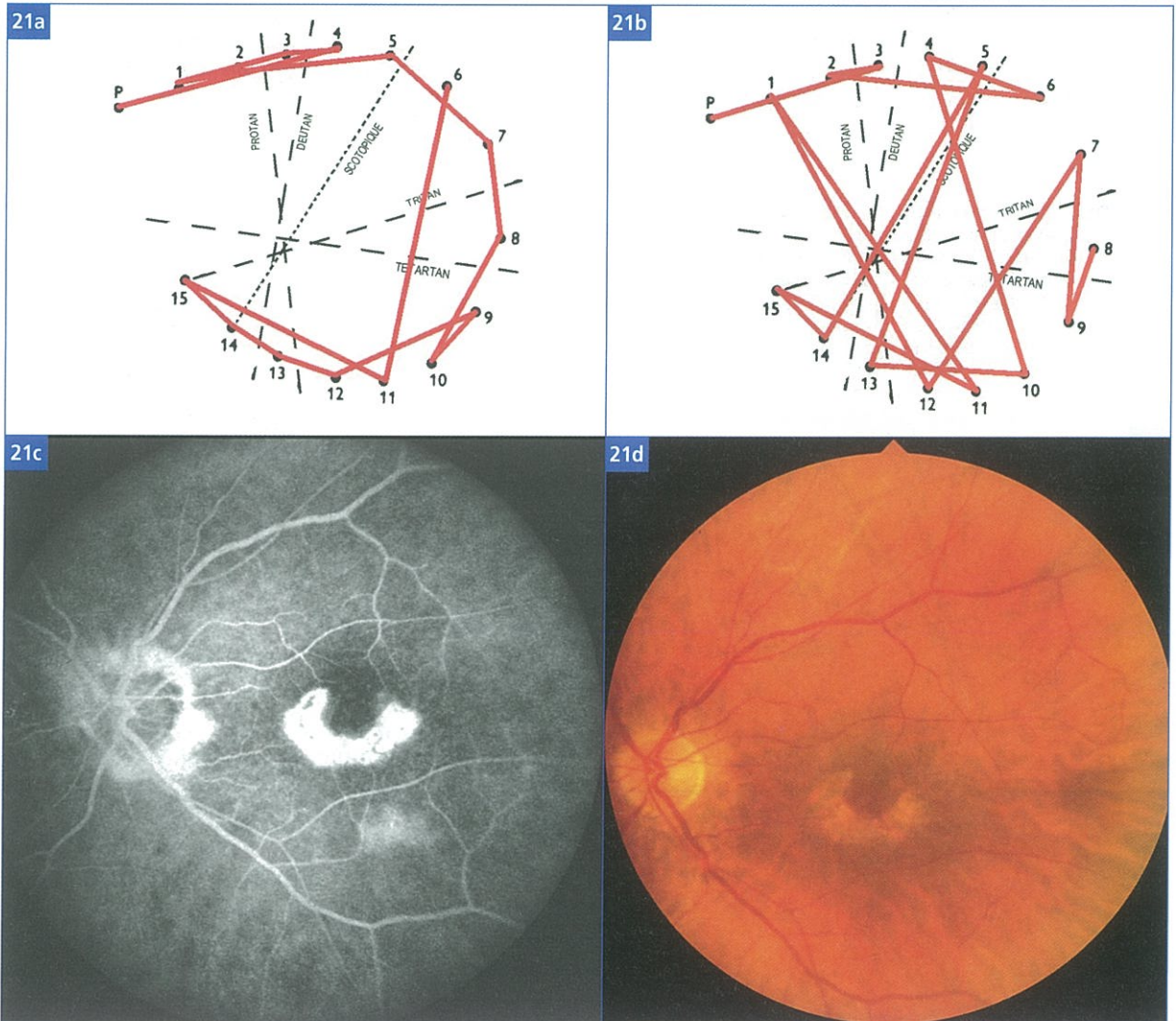
Geneviève B. Prise de Nivaquine pour lupus depuis 20 ans. Apparition d'un axe rouge-vert au D15D appelant l'arrêt du traitement (Fig. 21a). Le conseil n'a pas été suivi. Trois ans après, les lésions maculaires sont graves et irréversibles (Fig. 21b, c et d).

Figure 21 - Maculopathie aux APS.

21a - D15 Désaturé. Apparition d'un axe acquis rouge-vert de type II de Verriest. La patiente était connue et suivie, sa vision des couleurs était jusqu'alors normale. Le fond d'œil ne montrait aucune anomalie à ce moment-là. L'acuité visuelle était de 8/10. Nous avons conseillé l'arrêt du traitement.

21b - D15 Désaturé 3 ans après. La patiente a poursuivi la prise de Nivaquine et n'a plus été surveillée. L'acuité est de 5/10. La vision des couleurs est "sans axe" (type IV de Verriest).

21c et 21d - Angiographie fluorescéinique et rétinographie. Lésion pérимaculaire typique. La fovéa est épargnée. Ce n'est pas le cas de l'autre œil qui voit moins de 1/10 avec une atteinte maculaire étendue.



Association DH + DA

Elle peut se rencontrer soit au cours de la recherche d'une DH, soit d'une DA. L'abord pratique n'est pas tout à fait le même selon le cas.

■ Lors du dépistage d'une DH

Une DA d'axe rouge-vert, de faible importance, non attendue, a toute chance de passer inaperçue dans le cadre de la recherche d'une DH (qui est aussi le plus souvent d'axe rouge-vert), d'où l'intérêt majeur d'un bon interrogatoire médical et d'une consultation ophtalmologique complète préalable ; ce sera le seul moyen de suspecter en amont l'éventualité d'une DA chez un patient apparemment sain. Le cas d'un traumatisme ancien, oublié par le patient avec

séquelles minimales de contusion maculaire entraînant une petite DA d'axe bleu-jaune n'a été détectée qu'en raison de l'unilatéralité de la DA modifiant très légèrement le schéma d'une protanomalie héréditaire (Fig. 22). Voilà une raison supplémentaire pour faire le plus souvent possible une étude monoculaire même chez les dyschromates héréditaires.

Dans une DH, on connaît parfaitement les caractéristiques colorimétriques. En conséquence, toute modification, même légère, des résultats doit faire suspecter une DA associée qui doit être recherchée.

Il faudra faire attention cependant à ne pas confondre une faible discrimination colorée avec une association DH modérée (trichromatisme anormal léger) + DA d'axe bleu-jaune de faible intensité. Il faudra parfois multiplier les tests pour confronter les résultats.

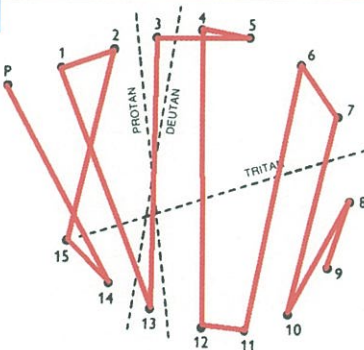
Figure 22 - Association DH + DA. Recherche d'une DH chez un jeune homme de 24 ans sans antécédent connu, 10/10 ODG, fond d'œil normal.

22a - D15 Standard monoculaire en première intention. Le résultat du test évoque une DH à type de protanomalie sévère mais les deux schémas OD et OG ne sont pas identiques.

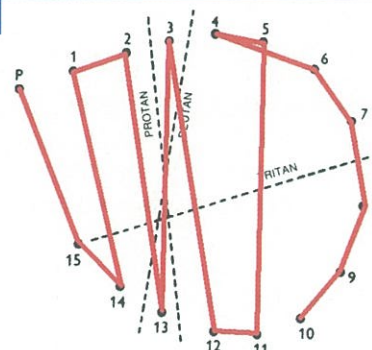
22b - D15 Désaturé. Le schéma de résultat de l'OG est typique d'une protanomalie sévère. Ce pourrait même être le schéma d'une protanopie si cela n'était infirmé par le D15 standard où l'on retrouve plus de 3 pions consécutifs classés normalement. Les résultats de l'OD paraissent en revanche plus anarchiques (nombreux axes de confusion d'orientation prédominante rouge-vert, protan et deutan, avec un seul axe de type bleu-jaune), confirmant la présence d'une DA associée.

L'ensemble des résultats permet de conclure à une protanomalie sévère associée à une DA rouge-vert de type II de Verriest à droite seulement. On observe avec intérêt sur le D15 standard de l'OD le positionnement un peu atypique de l'axe qui a amené à pratiquer un autre test. Un interrogatoire plus poussé met en évidence la notion d'un traumatisme ancien de l'œil droit, oublié, au cours duquel avait eu lieu un syndrome maculaire traumatique avec œdème et exsudat maculaire transitoire en étoile.

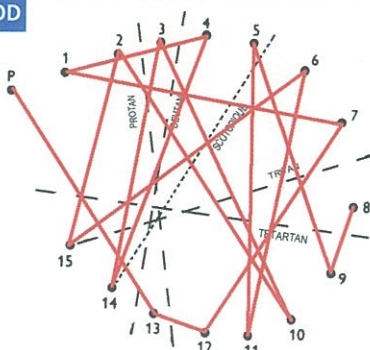
22a OD



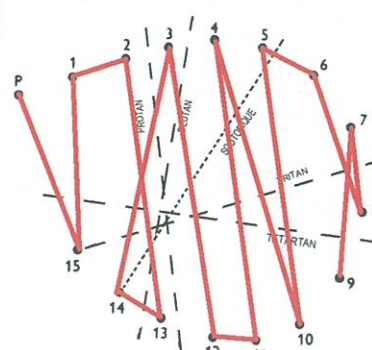
22a OG



22b OD



22b OG



■ Lors du dépistage d'une DA

Le problème est fréquent et souvent plus simple, les DA étant dans l'immense majorité des cas d'axe bleu-jaune et les DH d'axe rouge-vert.

Tout axe rouge-vert retrouvé dans une pathologie où l'on attend un axe bleu-jaune est suspect, a priori, d'être une DH. Une DH devra donc être éliminée grâce à des tests appropriés (PIC, tests saturés) avant d'évoquer une association de deux DA (axe bleu-jaune + axe rouge-vert).

En cas d'association d'une DH avec une DA d'axe bleu-jaune, on observe le plus souvent, sur les tracés de résultats, la présence conjointe d'axes rouge-vert et d'axes bleu-jaune bien distincts, mais rarement la présence d'axes de type scotopique.

Ces axes scotopiques sont en revanche très fréquemment retrouvés dans les associations de deux DA, l'une d'axe bleu-jaune, l'autre d'axe rouge-vert qui représentent le plus souvent l'évolution d'une DA vers une achromatopsie acquise.

Ce ne sera cependant pas le cas dans les plus rares associations de deux DA (l'une d'axe bleu-jaune, l'autre d'axe rouge-vert) issues de deux pathologies différentes telles que une rétinopathie diabétique simple d'axe bleu-jaune associée à une neuropathie optique d'axe rouge-vert. Le diagnostic différentiel avec une association DH + DA d'axe bleu-jaune est alors très difficile et seuls le contexte clinique et l'analyse très fine de tests plus complexes (100 hue, New Color Test, anomaloscope) permettent de trancher.

La question est encore plus délicate si la pathologie en cause est habituellement accompagnée d'une DA d'axe rouge-vert. Il sera plus difficile alors de reconnaître une DH associée, surtout si elle est légère (trichromatisme anormal).

On la suspectera sur la direction des axes, "trop" proches de la direction théorique protan ou deutran. Les PIC ne seront ici d'aucun secours. Le 100 hue peut être utile.

■ Comment diagnostiquer les deux dyschromatopsies ?

Une fois l'association DH + DA suspectée, il faut savoir multiplier les tests jusqu'à se forger une conviction. C'est le seul cas où la démarche stratégique se rapprochera de celle d'une batterie de tests. Mettre en œuvre tout ce dont on dispose ne sera en effet souvent pas superflu.

Le test de 100 hue trouve ici tout son intérêt. Il permet une analyse très fine des pics dont il faut parfaitement connaître la signification. L'emplacement exact des pics des axes théoriques doit être bien connu.

Un des signes les plus importants au 100 hue sera la présence de pics unilatéraux, sans correspondance symétrique de l'autre côté du blanc. Cela signe avec certitude la présence d'une DA (Fig. 23c).

Des renseignements équivalents peuvent être déduits du New Color Test qui permet en outre d'évaluer la largeur des zones neutres. Une zone neutre qui s'élargit lorsque la saturation diminue signe avec certitude une DA.

L'anomaloscope est dans ce cas également d'un grand intérêt. Il diagnostiquera de façon souveraine une anopie qui sera ainsi différenciée d'une DA d'axe rouge-vert sévère. La présence d'une importante modification de l'équation de Moreland signera presque certainement l'existence d'une DA, même si celle-ci est essentiellement d'axe rouge-vert. Cela n'est cependant pas pathognomonique.

■ Un exemple réel d'association difficile DH + DA dans une maladie de Stargardt

Il s'agit d'un jeune patient présentant une baisse d'acuité visuelle sur une maculopathie bilatérale sévère (avec l'aimable autorisation du Dr Fl. Rigaudière qui nous a soumis ce cas d'un grand intérêt pédagogique) (Fig. 23).

Figure 23 - Association DH+DA la plus difficile (DH + DA d'axe rouge-vert). Maladie de Stargardt chez un deutéranope. Association d'axes rouge-vert protan et deután et d'axes bleu-jaune.

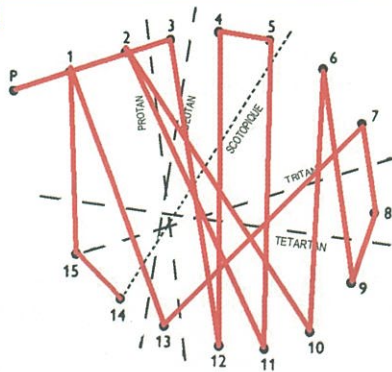
23a - D15 Désaturé en monoculaire. Interprétation difficile. Le contexte clinique est celui du diagnostic différentiel d'une maculopathie. Il s'agit a priori d'une DA d'axe rouge-vert mais elle est peu typique : l'œil droit oriente vers un type I de Verriest, l'œil gauche est plus anarchique.

23b - D15 standard. Il montre à l'évidence une deutéranopie héréditaire. Ce test fait isolément ne permettrait pas de découvrir la DA. Voilà pourquoi il est toujours préférable de commencer par un test désaturé dans la recherche d'une DA à l'inverse de la DH où il faut toujours commencer par un test saturé.

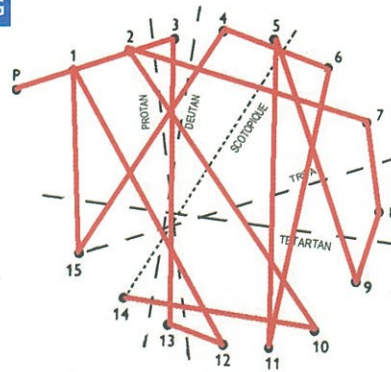
23c - 100 hue. Il confirme l'association DH + DA en montrant à la fois les axes rouge-vert protan et deután mais aussi les axes bleu-jaune avec cette étonnante pointe vers le haut sur l'OD et sa stricte opposée vers le bas sur l'OG que l'on peut interpréter comme un axe neutre partiel.

23d - Les rétino-graphies de ce jeune patient.

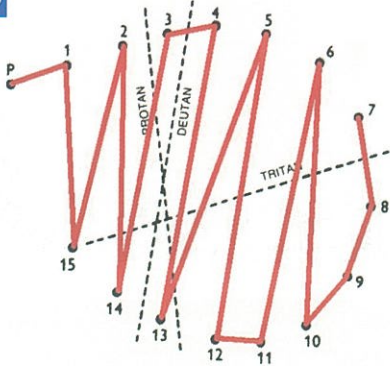
23a OD



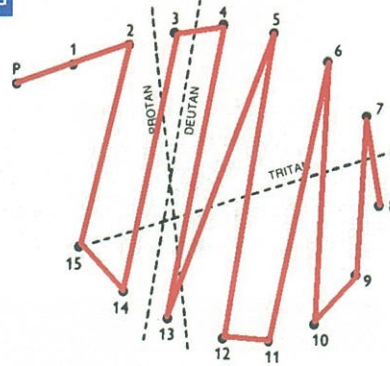
23a OG

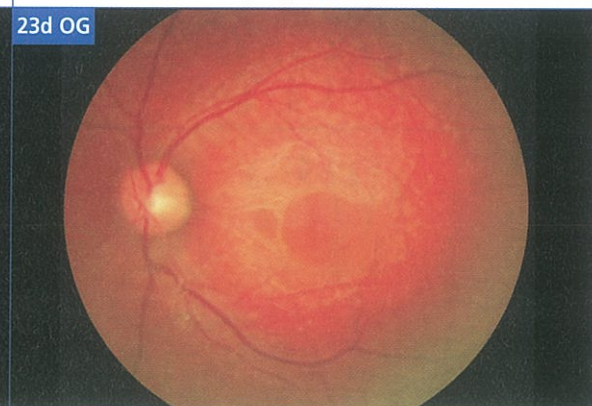
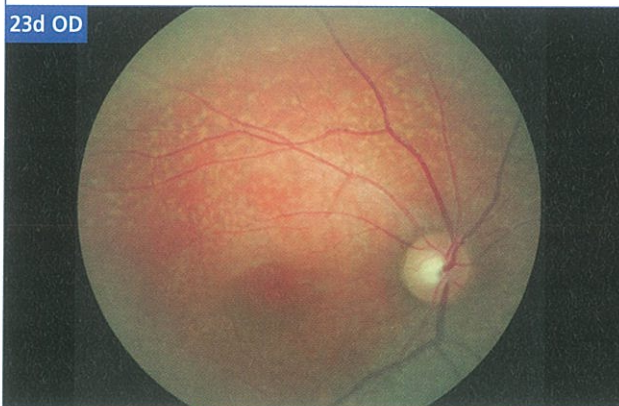
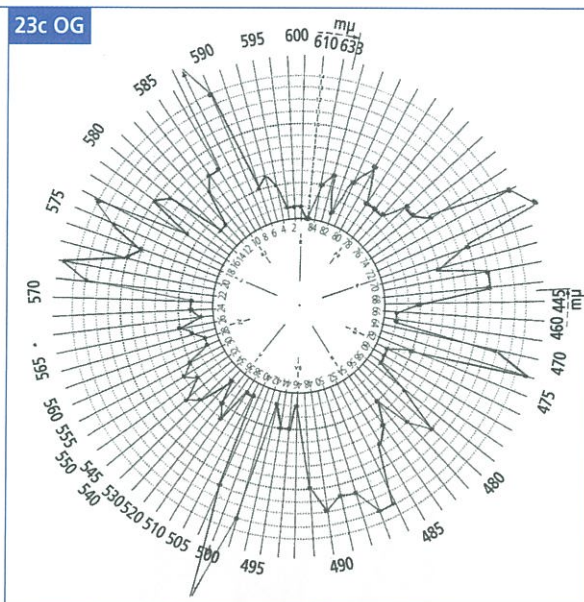
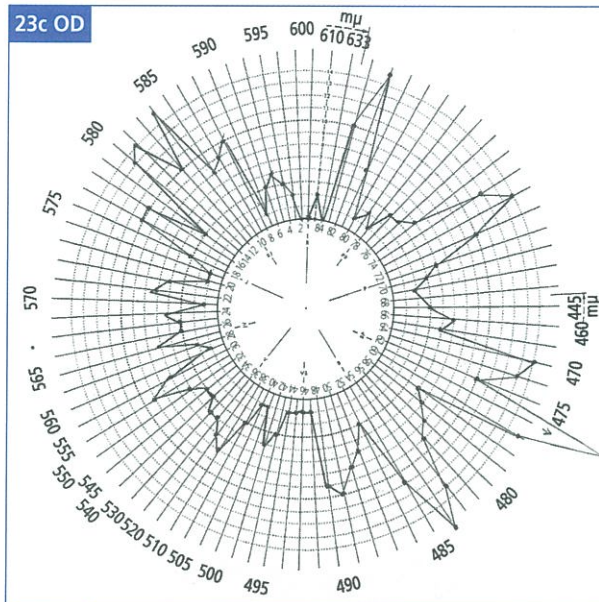


23b OD



23b OG





Points forts

- Raisonner en termes de stratégie.
- Faire un bilan préalable complet pour évaluer ce que l'on cherche.
- En déduire les tests les plus appropriés à utiliser en première intention.
- En fonction du résultat de chaque test poursuivre la stratégie jusqu'au diagnostic.
- Si les caractères colorimétriques d'une DH paraissent impurs, une DA lui est probablement associée.
- Si les caractères colorimétriques d'une DA paraissent trop purs, une DH lui est peut-être associée.

Le lecteur pourra trouver une bibliographie exhaustive à partir des ouvrages généraux suivants :

- Verriest G. Les déficiences acquises de la discrimination chromatique. Mém Acad Roy Méd. Belg, 1964.
- Le Grand Y. Optique physiologique. Lumière et couleurs. Masson, Paris, 1972.
- Pokorny J, Smith V, Verriest G, Pinckers A. Congenital and acquired color vision defects. Grüne & Stratton, New York, 1979.
- Fletcher R, Voke J. Defective colour vision. Hilger, Bristol, 1985.
- Kowaliski P. Vision et mesure de la couleur. 2^e édition actualisée par Viénot F. et Sève R. Masson, Paris, 1990.
- Leid J. coordonnateur. Les dyschromatopsies. Bull Soc Fr Oph. Rapport annuel 2001.
- Mollon JD, Pokorny J, Knoblauch K. Normal and defective colour vision. Oxford University Press, 2003.



Parce qu'il faut remettre les coronariens debout*

*"La lutte contre la sédentarité fait partie des mesures de prévention secondaire, et l'entraînement physique reste un élément clé du programme de réadaptation cardiovasculaire." : Recommandations de la Société Française de Cardiologie concernant la pratique de la réadaptation cardiovasculaire chez l'adulte. Version 2. Arch Mal Cœur 2002 ; 95(10) : 963-997.

VASTAREL 35mg

Trimétazidine

Comprimé pelliculé à libération modifiée

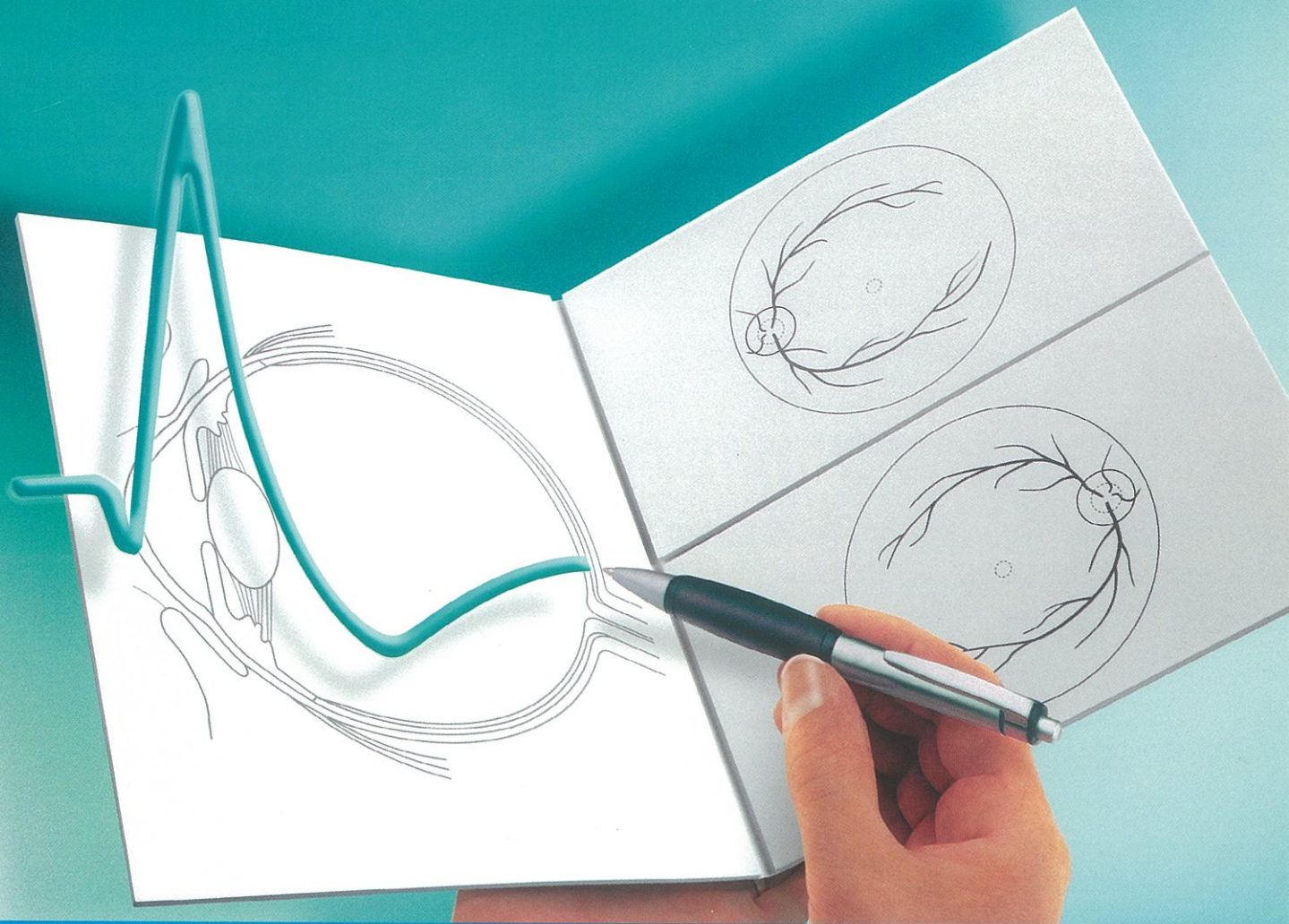
Traitement prophylactique de la crise d'angine de poitrine

VASTAREL 35 mg, comprimé pelliculé à libération modifiée. **Composition et forme** : Boîte de 60 cp pelliculés à libération modifiée de dichlorhydrate de trimétazidine dosés à 35 mg. **Indications thérapeutiques** : • En cardiologie : traitement prophylactique de la crise d'angine de poitrine, • En ORL : traitement symptomatique d'appoint des vertiges et des acouphènes, • En ophtalmologie : traitement d'appoint des baisses d'acuité et des troubles du champ visuel présumés d'origine vasculaire. **Propriétés** : **Propriétés pharmacodynamiques** : AUTRE MÉDICAMENT EN CARDIOLOGIE À VISÉE ANTIANGINEUSE. La trimétazidine, en préservant le métabolisme énergétique de la cellule exposée à l'hypoxie ou à l'ischémie, empêche l'abaissement du taux intracellulaire de l'ATP. Elle assure ainsi le fonctionnement des pompes ioniques et des flux transmembranaires Na⁺-K⁺ et maintient l'homéostasie cellulaire. Les études contrôlées, chez l'angoreux, ont montré que la trimétazidine : • augmente la réserve coronaire (le délai d'apparition des troubles ischémiques liés à l'effort), dès le 15^e j du traitement, • limite les à-coups tensionnels liés à l'effort, sans entraîner de variations significatives de la fréquence cardiaque, • diminue significativement la fréquence des crises angineuses, • entraîne une diminution significative de la consommation de trinitrine. Dans une étude réalisée sur 2 mois, chez des patients recevant 50 mg d'aténolol, l'ajout de 1 cp à libération modifiée de trimétazidine 35 mg entraîne, par rapport au placebo, un allongement significatif du délai d'apparition d'un sous-décalage de 1 mm du segment ST à l'épreuve d'effort 12 h après la prise. **Propriétés pharmacocinétiques** : • Sur 24 h, la concentration plasmatique se maintient à des concentrations ≥ 75 % de la C_{max} pendant 11 h. **Contre-indications** : Hypersensibilité à l'un des constituants du produit. **Grossesse et allaitement** : Éviter de prescrire pendant la grossesse - allaitement déconseillé. **Mises en garde et précautions particulières d'emploi** : Généralement déconseillé pendant l'allaitement (cf. Grossesse et allaitement). Ce médicament n'est pas un traitement curatif de la crise d'angor, il n'est pas non plus indiqué comme traitement initial de l'angor instable, ou de l'infarctus du myocarde, ni dans la phase préhospitalière, ni pendant les premiers jours d'hospitalisation. En cas de survenue d'une crise d'angor, une réévaluation de la coronaropathie s'impose, et une adaptation du traitement doit être discutée (traitement médicamenteux et éventuellement revascularisation). **Effets indésirables** : Rares troubles gastro-intestinaux (nausées et vomissements). Très rares symptômes parkinsoniens, réversibles à l'arrêt du traitement. **Posologie et mode d'administration** : 1 cp matin et soir au moment du repas. CTJ : 0,37 €. Arrêt du traitement si absence de réponse à 3 mois. AMM 357 245-8 (60 cp) ; 357 247-0 (100 cp : modèle hospitalier) (août 2001). Coll. **Prix** : 11,07 €. Remb. Séc. soc. : 35 % dans le traitement prophylactique de la crise d'angine de poitrine et dans le traitement symptomatique d'appoint des vertiges et des acouphènes, non remboursé dans le traitement d'appoint des baisses d'acuité et des troubles du champ visuel présumés d'origine vasculaire. **Information médicale** : **Biopharma** - 29, rue du Pont - 92578 Neuilly sur Seine Cedex - Tél. 01 55 72 60 00 - Les Laboratoires Servier - 22, rue Garnier - 92200 Neuilly-sur-Seine. Information plus complète : cf. Vidal.

07 VA 136 IF / 09-07 - îlots de cyan



Antiangoreux à mode d'action métabolique // 1 comprimé matin et soir



Traitement d'appoint des baisses d'acuité et des troubles du champ visuel présumés d'origine vasculaire

VASTAREL 35mg

Trimétazidine

Comprimé pelliculé à libération modifiée

VASTAREL 35 mg, comprimé pelliculé à libération modifiée. **Composition et forme** : Boîte de 60 cp pelliculés à libération modifiée de dichlorhydrate de trimétazidine dosés à 35 mg. **Indications thérapeutiques** : • En cardiologie : traitement prophylactique de la crise d'angine de poitrine, • En ORL : traitement symptomatique d'appoint des vertiges et des acouphènes, • En ophtalmologie : traitement d'appoint des baisses d'acuité et des troubles du champ visuel présumés d'origine vasculaire. **Propriétés** : **Propriétés pharmacodynamiques** : AUTRE MÉDICAMENT EN CARDIOLOGIE À VISÉE ANTIANGINEUSE. La trimétazidine, en préservant le métabolisme énergétique de la cellule exposée à l'hypoxie ou à l'ischémie, empêche l'abaissement du taux intracellulaire de l'ATP. Elle assure ainsi le fonctionnement des pompes ioniques et des flux transmembranaires Na⁺-K⁺ et maintient l'homéostasie cellulaire. Les études contrôlées, chez l'angoreux, ont montré que la trimétazidine : • augmente la réserve coronaire (le délai d'apparition des troubles ischémiques liés à l'effort), dès le 15^e j du traitement, • limite les à-coups tensionnels liés à l'effort, sans entraîner de variations significatives de la fréquence cardiaque, • diminue significativement la fréquence des crises angineuses, • entraîne une diminution significative de la consommation de trinitrine. Dans une étude réalisée sur 2 mois, chez des patients recevant 50 mg d'aténolol, l'ajout de 1 cp à libération modifiée de trimétazidine 35 mg entraîne, par rapport au placebo, un allongement significatif du délai d'apparition d'un sous-décalage de 1 mm du segment ST à l'épreuve d'effort 12 h après la prise. **Propriétés pharmacocinétiques** : • Sur 24 h, la concentration plasmatique se maintient à des concentrations ≥ 75 % de la C_{max} pendant 11 h. **Contre-indications** : Hypersensibilité à l'un des constituants du produit. **Grossesse et allaitement** : Éviter de prescrire pendant la grossesse – allaitement déconseillé. **Mises en garde et précautions particulières d'emploi** : Généralement déconseillé pendant l'allaitement (cf. Grossesse et allaitement). Ce médicament n'est pas un traitement curatif de la crise d'angor, il n'est pas non plus indiqué comme traitement initial de l'angor instable, ou de l'infarctus du myocarde, ni dans la phase préhospitalière, ni pendant les premiers jours d'hospitalisation. En cas de survenue d'une crise d'angor, une réévaluation de la coronaropathie s'impose, et une adaptation du traitement doit être discutée (traitement médicamenteux et éventuellement revascularisation). **Effets indésirables** : Rares troubles gastro-intestinaux (nausées et vomissements). Très rares symptômes parkinsoniens, réversibles à l'arrêt du traitement. **Posologie et mode d'administration** : 1 cp matin et soir au moment du repas. CTJ : 0,37 €. Arrêt du traitement si absence de réponse à 3 mois. AMM 357 245-8 (60 cp) ; 357 247-0 (100 cp : modèle hospitalier) (août 2001). Coll. **Prix** : 11,07 €. Remb. Séc. soc. : 35 % dans le traitement prophylactique de la crise d'angine de poitrine et dans le traitement symptomatique d'appoint des vertiges et des acouphènes, non remboursé dans le traitement d'appoint des baisses d'acuité et des troubles du champ visuel présumés d'origine vasculaire. **Information médicale** : Biopharma – 29, rue du Pont – 92578 Neuilly sur Seine Cedex – Tél. 01 55 72 60 00 – Les Laboratoires Servier – 22, rue Garnier – 92200 Neuilly-sur-Seine. Information plus complète : cf. Vidal.

1 comprimé matin et soir / 1 boîte par mois de traitement

