

## 2 ± FRÉQUENCES SPATIALES ET TEMPORELLES, ET SENSIBILITÉ AUX CONTRASTES

V. SMIRNOV, S. DEFOORT-DHELLEMES

### Introduction

La sensibilité au contraste est une fonction visuelle fondamentale. Il s'agit de la capacité de discriminer les différences en luminance des objets clairs ou sombres d'une scène visuelle, stationnaires ou en mouvement.

Les tests de la vision du contraste ont beaucoup été étudiés mais sont malheureusement peu utilisés dans la pratique ophtalmologique courante. Cela s'explique par leur faible apport dans un diagnostic positif d'affections oculaires. L'intérêt de l'examen de la vision du contraste est pourtant majeur dans une situation de handicap visuel. D'une part, les anomalies de la vision de contraste permettent d'expliquer la gêne des patients dans la vie quotidienne ; d'autre part, ils orientent les stratégies de rééducation et de compensation d'une malvoyance. En outre, ce sont de bons tests de suivi, permettant de détecter des variations fines de la fonction visuelle.

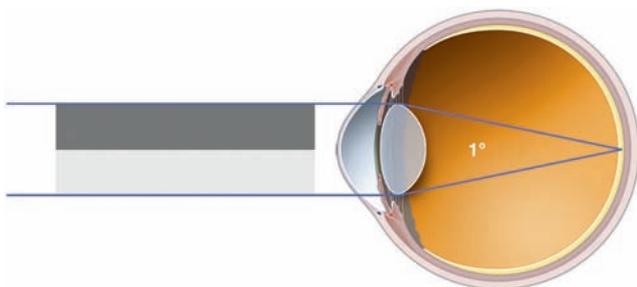
### Bases physiques et anatomophysiologiques

Le système visuel procède par décomposition d'un signal visuel complexe en une somme infinie de réseaux sinusoidaux avec caractéristiques particulières, chacune reconnue par une zone dédiée du cortex visuel. Seule cette information en termes binaires de réseaux sinusoidaux est accessible au cerveau.

#### ■ RÉSEAUX VISUELS : NOTIONS FONDAMENTALES

Le système visuel humain n'est pas un analyseur de luminance absolue mais différentielle. Le stimulus adapté à son étude est donc une alternance des plages sombres et claires, appelée un réseau visuel. Les caractéristiques principales de ce type de réseaux visuels sont la fréquence spatiale, la fréquence temporelle et le contraste.

La *fréquence spatiale* est définie par la largeur des bandes à la distance donnée de l'observateur (fig. 5-5). Il est plus aisé de



**Fig. 5-5** Réseau d'une fréquence spatiale d'un cycle par degré d'angle visuel.

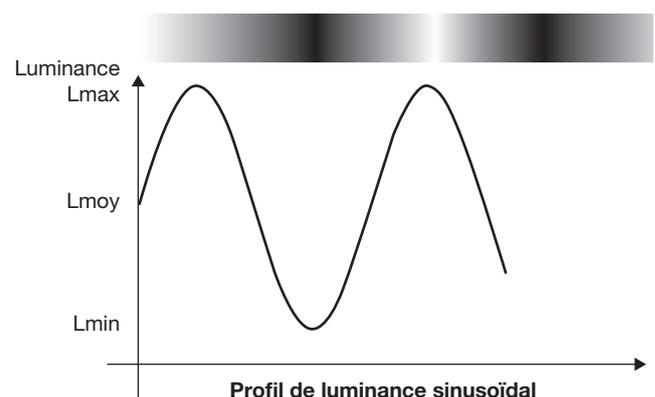
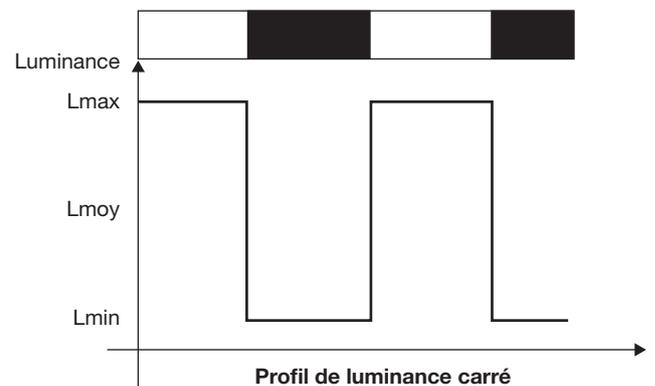
l'exprimer en nombre de cycles par degré d'angle visuel (cpd) afin de s'affranchir d'une distance d'observation. Un cycle correspond à une barre sombre suivie d'une barre claire. Les hautes fréquences spatiales correspondent alors à des détails fins d'une scène visuelle ; les basses fréquences définissent les objets de grande taille.

La *fréquence temporelle* est le reflet du mouvement d'un réseau. Il suffit d'inverser le contraste des bandes pour produire une sensation de mouvement du réseau dit papillotement. La fréquence temporelle n'est alors autre chose qu'un nombre d'inversions par seconde, exprimé en hertz (Hz). L'œil est sensible au papillotement jusqu'à une certaine fréquence à laquelle il n'est plus possible de distinguer les bandes. C'est une *fréquence de fusion*. Au-dessus de cette fréquence, le réseau apparaît de luminance homogène.

Le *contraste* du réseau se calcule selon la formule de Michelson :

$$C = (L_{\max} - L_{\min}) / (L_{\max} + L_{\min})$$

où  $L_{\max}$  et  $L_{\min}$  expriment la luminance maximale et minimale des barres. Cette variation de luminance peut se faire selon une fonction mathématique et définit alors le *profil du réseau*. Les profils carrés et sinusoidaux sont les plus utilisés dans la pratique clinique (fig. 5-6).



**Fig. 5-6** Réseaux à profils de luminance les plus utilisés pour la stimulation visuelle.

On imagine aisément le nombre infini de tels réseaux variants en couleur, orientation des barres et direction du mouvement que l'œil extrait de l'objet regardé. L'analogie est souvent faite avec une analyse de Fourier, permettant de passer d'un signal irrégulier, complexe, à une somme de fonctions périodiques (sinusoïdes).

## ■ SUPPORT ANATOMOPHYSIOLOGIQUE

Les travaux d'Enroth-Cugell et Robson [1] ont permis d'identifier au moins deux systèmes de cellules ganglionnaires rétiniennes, l'un sensible à la fréquence spatiale et l'autre à la fréquence temporelle du stimulus. Le premier est responsable de la vision des détails fins et de leur couleur (voie P ou parvocellulaire), et le deuxième est sensible au mouvement de l'image rétinienne (voie M ou magnocellulaire). Campbell et Robson [2] ont démontré l'existence de « canaux » à l'intérieur de ces voies, chacun sensible à une fréquence donnée. Dans le même temps, Hubel et Wiesel [3] ont découvert l'existence de cellules du cortex visuel spécialement

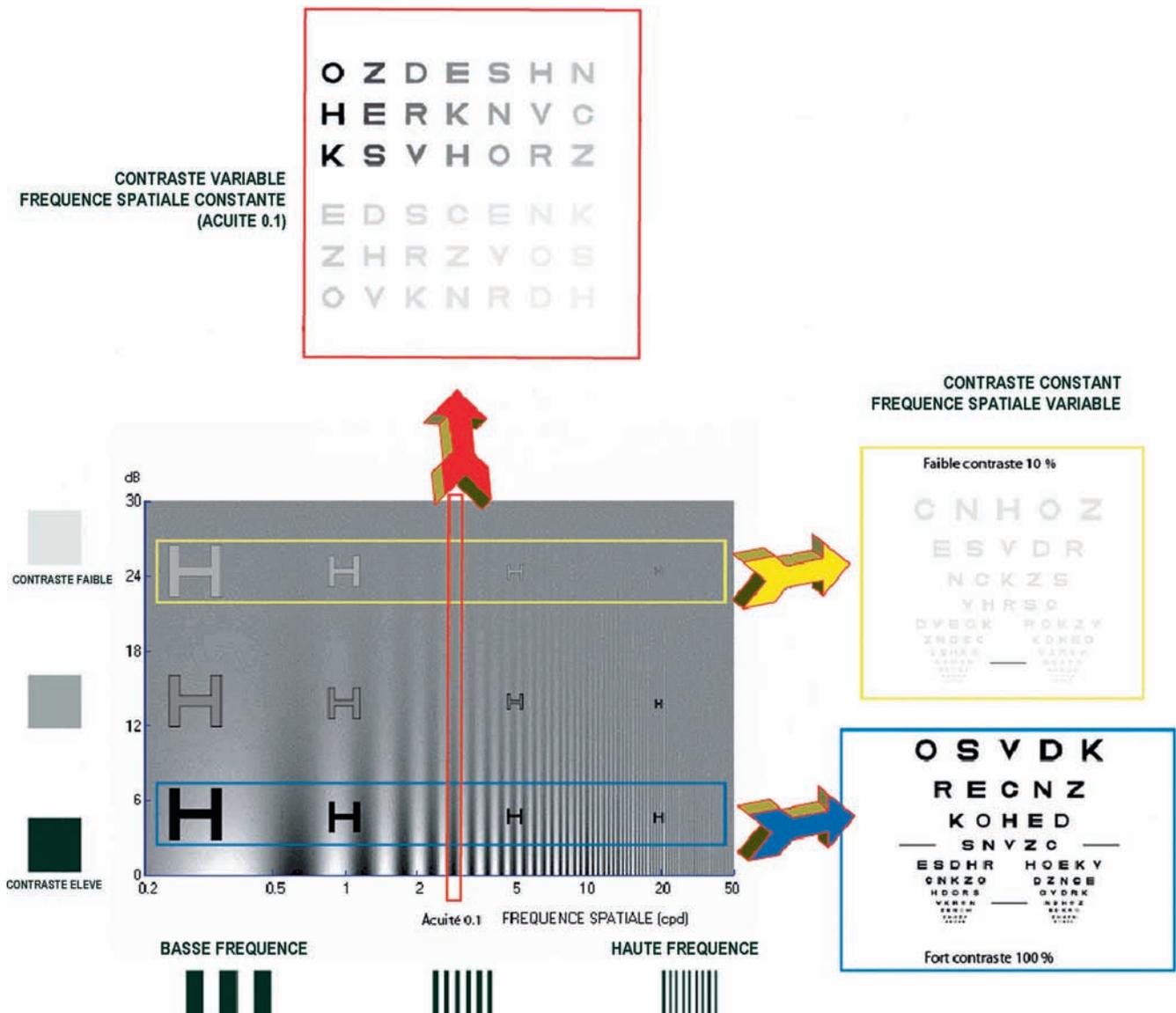
« accordées » pour recevoir une fréquence temporelle/spatiale et l'orientation de stimulus visuel.

Ainsi, l'examen de la sensibilité au contraste permet d'appréhender l'ensemble des « canaux » visuels et de délimiter le domaine du visible (par analogie avec l'îlot de vision de Traquair dans la mer de cécité).

## Méthodes d'étude de la sensibilité au contraste

Le seuil de sensibilité au contraste, qu'on teste cliniquement, est un contraste minimal perçu pour une fréquence spatiale et/ou temporelle donnée [4, 5].

Les tests de contraste *statiques* sont les plus utilisés [6]. Ces tests (fig. 5-7) sont conçus pour une fréquence spatiale donnée



**Fig. 5-7** Tests simplifiés à contraste ou à fréquence spatiale constante.

En haut, planche Visiocontrast® ; à droite, planches de lettres de Sloan de Precision Vision®. (Reproduit avec l'aimable autorisation du Dr J.-P. Woillez et du Dr X. Zanlonghi.)

(carte de Pelli-Robson, test Mars®), ou pour un contraste donné (échelles de Sloan de 1,25, 2,5, 5, 10 et 25 % de contraste de Precision Vision®) ; ils peuvent aussi tester plusieurs combinaisons de contraste et de fréquence spatiale (Moniteur Ophthalmologique® de Métrovision ; fig. 5-8), FVA de Stereoptical, certaines cartes et écrans de présentation des optotypes). Ces tests sont disponibles pour une vision de loin, aux distances intermédiaires et en vision de près. Depuis tout dernièrement, ils sont accessibles sur les tablettes numériques [7].

Les résultats sont présentés soit en scores normalisés (tests à résolution spatiale ou à contraste fixes), soit en courbes de seuil de perception de contraste en fonction de la résolution spatiale. Ces courbes (visuogrammes, où les seuils de sensibilité sont exprimés en décibels) ont une forme de cloche avec un pic de sensibilité au contraste pour des fréquences spatiales entre 2 et 5 cpd. L'acuité visuelle n'est autre chose qu'un point d'un visuogramme correspondant à l'intersection d'une fréquence temporelle maximale perçue à 100 % de contraste. Les couloirs normatifs existent en fonction de l'âge des patients [8]. L'aire sous la courbe représente alors la « surface de la vision » (fig. 5-9).



**Fig. 5-8** Test de vision de contraste sur Moniteur Ophthalmologique MonPackOne® de Métrovision.

À chaque fréquence temporelle testée, le contraste augmente progressivement jusqu'à ce que le patient signale qu'il aperçoit le réseau.

## Applications dans le domaine du handicap

L'acuité visuelle, qui définit avec le champ visuel la déficience visuelle, est insuffisante pour apprécier la qualité de la vision restante et donc pour définir au mieux les moyens de compensation.

### ■ INTÉRÊT DANS UN BILAN DE DÉFICIENCE VISUELLE

Certains auteurs proposent les tests de sensibilité au contraste pour classifier les déficiences visuelles [9], notamment comme un des facteurs d'évaluation globale dans les scores composites.

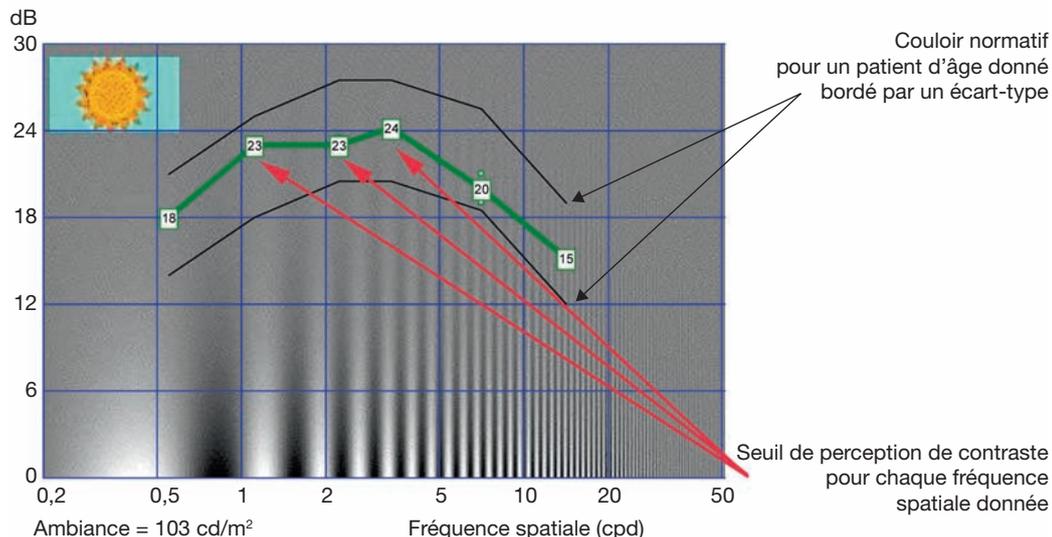
Une équipe française utilise les tests de sensibilité de contraste, y compris de contraste chromatique, pour jauger l'efficacité des stratégies de rééducation de basse vision liée à la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) [10]. Cette approche a été récemment reprise pour l'évaluation des résultats de traitement de DMLA atrophique [11].

La lecture est une activité fortement dépendante de la sensibilité au contraste [12]. Le contraste critique, ralentissant de 50 % la vitesse de lecture, est un paramètre individuel, peu dépendant du type d'affection oculaire [13]. La mesure de ce seuil peut être utile pour le bilan initial, la prescription des aides et pour l'évaluation de l'efficacité de la rééducation.

L'évaluation de la sensibilité au contraste fait l'objet de plusieurs études du handicap visuel et moteur lié à la sclérose en plaques. Elle est inversement corrélée avec les scores de sévérité de la maladie (ou *Expanded disability status scale* [EDSS]) [14] et de la progression du handicap neurologique [15,16].

### ■ INTÉRÊT DANS LA RÉÉDUCATION ET POUR COMPENSATION DU HANDICAP

Les tâches de la vie courante font appel aux différentes propriétés du système visuel. Celles qui s'adressent à une bonne sensibilité



**Fig. 5-9** Visuogramme d'un sujet normal, Moniteur Ophthalmologique® de Métrovision.

de contraste sont par exemple la conduite sous la pluie (fig. 5-10) ou dans le brouillard, la descente des escaliers, etc.

Il est facile d'imaginer la difficulté de verser du lait dans un bol blanc pour le patient ayant une perturbation majeure de la sensibilité au contraste, comme c'est le cas dans les neuropathies optiques, par exemple. Dans cette situation, les systèmes grossissants n'ont que peu d'utilité. En revanche, la vaisselle bien contrastée ou une augmentation de l'éclairage de cuisine peuvent sensiblement aider le patient. Dans le même ordre d'idées, le marquage contrasté au sol, aux murs et les bandes lumineuses aux arrêtes des marches des escaliers (fig. 5-11) peuvent guider les déplacements d'un déficient visuel (l'ensemble des dispositifs légaux quant aux normes de construction et de l'accessibilité pour les personnes handicapées peut être consulté sur le site de la Confédération française pour la promotion sociale des aveugles et amblyopes (CFPSAA ; <http://www.cfpsaa.fr/spip.php?rubrique136>).

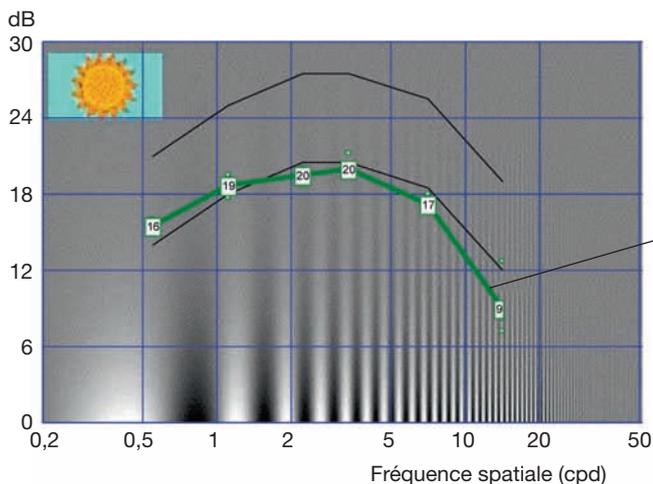
L'étude de sensibilité au contraste dans les conditions d'éblouissement (*glare disability*) est utile pour les patients photophobes [17]. Une amélioration de cette sensibilité peut être obtenue avec des filtres colorés ou des verres polarisés [18, 19]. L'amélioration des visuogrammes justifie la prescription d'un type particulier de verre. Il en est de même pour l'implantation des implants intra-oculaires filtrant les courtes longueurs d'onde (lumière bleue) en

cas de maculopathies et rétinopathies [20]. Une étude japonaise [21] a retrouvé une amélioration de la sensibilité au contraste avec les filtres jaunes chez les patients atteints d'une agnosie visuelle du syndrome de Benson.

Les mêmes mesures peuvent être appliquées pour l'évaluation ergonomique de l'environnement lumineux assurant une meilleure acuité visuelle et une vision des contrastes [22]. Une présentation de texte à contraste maximale ou en contraste inversé peut aider à la lecture. Les recommandations de contraste minimal pour les textes présentés sur écran d'ordinateur sont données par la norme ISO 9241-3 : 2012.

## Conclusion

L'examen de sensibilité au contraste présente un intérêt majeur dans le domaine du handicap visuel. Il permet de mieux comprendre la gêne du patient dans la vie quotidienne, de proposer des aides visuelles adaptées et des stratégies de rééducation personnalisées et, enfin, de réaliser un contrôle d'efficacité de ces mesures compensatrices.



Visuogramme en dessous des valeurs normales  
Baisse prédominante sur les hautes fréquences spatiales

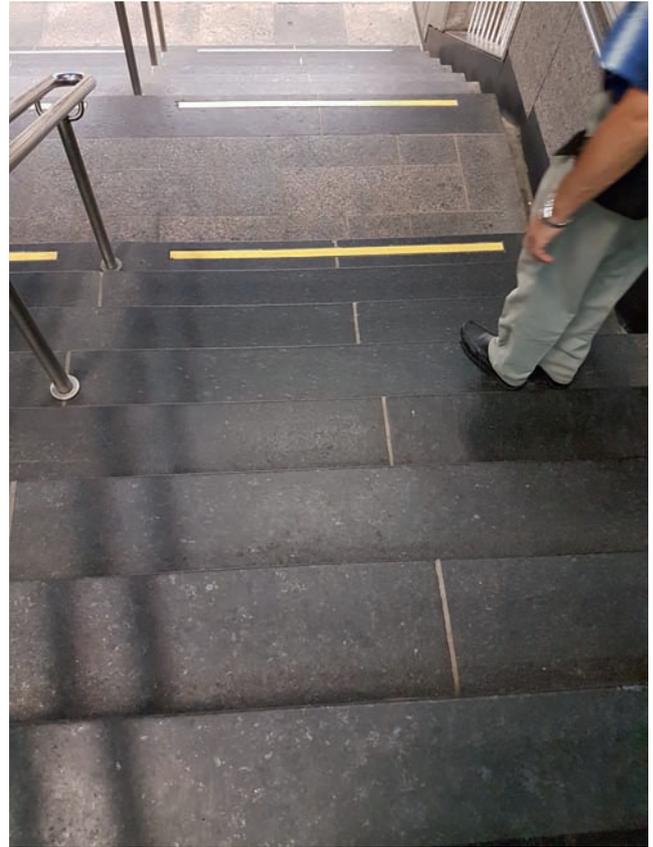
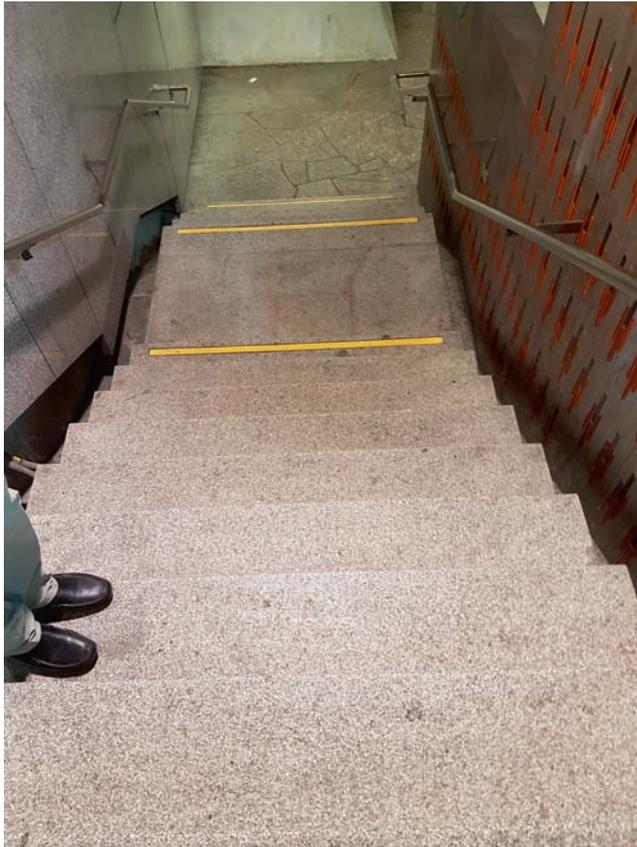


Image normale



Image simulée d'après le visuogramme du patient

**Fig. 5-10** Patient atteint d'une neuropathie optique inflammatoire. L'acuité visuelle de l'œil testé est de 7/10. Simulation proposée par le Moniteur Ophtalmologique® de Métrovision.



**Fig. 5-11** a. *Marches mal contrastées, bandes signalétiques seulement sur le palier et vues par contraste chromatique inaccessible à certains déficients visuels.* b. *Guidage par une bande verticale vue par contraste de luminance.*

a | b

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Enroth-Cugell C, Robson JG. The contrast sensitivity of retinal ganglion cells of the cat. *J Physiol* 1966 ; 187(3) : 517-52.
- [2] Campbell FW, Cooper GF, Robson JG, Sachs MB. The spatial selectivity of visual cells of the cat and the squirrel monkey. *J Physiol* 1969 ; 204(2) : 120P+.
- [3] Hubel DH, Wiesel TN. Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. *J Physiol* 1968 ; 195(1) : 215-43.
- [4] Pelli DG, Bex P. Measuring contrast sensitivity. *Vision Res* 2013 ; 90 : 10.
- [5] Corbé C, Nordmann JP. Fonctions de sensibilité au contraste de luminance. In : *Exploration de la fonction visuelle : applications au domaine sensoriel de l'oeil normal et en pathologie. Rapport de la Société Française d'Ophthalmologie.* Paris : Masson ; 1999.
- [6] Zanlonghi X, Arndt C. Sensibilité aux contrastes. In : *Neuropathies optiques. Rapport annuel de BSOF.* 2015.
- [7] Dorr M, Lesmes LA, Lu ZL, Bex PJ. Rapid and reliable assessment of the contrast sensitivity function on an iPad. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013 ; 54(12) : 7266-73.
- [8] Allard R, Renaud J, Molinatti S, Faubert J. Contrast sensitivity, healthy aging and noise. *Vision Res* 2013 ; 92 : 47-52.
- [9] Kajla G, Rohatgi J, Dhaliwal U. Use of subjective and objective criteria to categorise visual disability. *Indian J Ophthalmol* 2014 ; 62(4) : 400-6.
- [10] Corbé C, De La Porte Des Vaux C. Notre démarche dans la prise en charge d'une personne atteinte de DMLA. *Coup d'Œil* 1991 ; 35 : 63-70.
- [11] Lesmes LA, Jackson ML, Bex P. Visual function endpoints to enable dry AMD clinical trials. *Drug Discov Today Ther Strateg* 2013 ; 10(1) : e43-50.
- [12] Legge GE, Rubin GS, Luebker A. Psychophysics of reading-V. The role of contrast in normal vision. *Vision Res* 1987 ; 27(7) : 1165-77.
- [13] Rubin GS, Legge GE. Psychophysics of reading. VI--The role of contrast in low vision. *Vision Res* 1989 ; 29(1) : 79-91.
- [14] Soler García A, González Gómez A, Figueroa-Ortiz LC, et al. Relationship between contrast sensitivity test and disease severity in multiple sclerosis patients. *Arch Soc Esp Oftalmol* 2014 ; 89(9) : 347-51.
- [15] Schinzel J, Zimmermann H, Paul F, et al. Relations of low contrast visual acuity, quality of life and multiple sclerosis functional composite : a cross-sectional analysis. *BMC Neurol* 2014 ; 14 : 31.
- [16] Nunes AF, Monteiro PML, Vaz Pato M. Influence of multiple sclerosis, age and degree of disability, in the position of the contrast sensitivity curve peak. *Indian J Ophthalmol* 2014 ; 62(2) : 180-5.
- [17] Aslam TM, Haider D, Murray IJ. Principles of disability glare measurement : an ophthalmological perspective. *Acta Ophthalmol Scand* 2007 ; 85(4) : 354-60.
- [18] Leat SJ, North RV, Bryson H. Do long wavelength pass filters improve low vision performance ? *Ophthalmic Physiol Opt J Br Coll Ophthalmic Opt Optom* 1990 ; 10(3) : 219-24.
- [19] Severinsky B, Yahalom C, Florescu Sebok T, et al. Red-tinted contact lenses may improve quality of life in retinal diseases. *Optom Vis Sci Off Publ Am Acad Optom* 2016 ; 93(4) : 445-50.
- [20] Hammond BR, Renzi LM, Sachak S, Brint SF. Contralateral comparison of blue-filtering and non-blue-filtering intraocular lenses : glare disability, heterochromatic contrast, and photostress recovery. *Clin Ophthalmol Auckl NZ* 2010 ; 4 : 1465-73.
- [21] Sakai S, Hirayama K, Iwasaki S, et al. Yellow glasses improve contrast sensitivity of a patient with a visual variant of Alzheimer's disease. *Eur Neurol* 2002 ; 48(4) : 224-5.
- [22] Sheedy JE, Smith R, Hayes J. Visual effects of the luminance surrounding a computer display. *Ergonomics* 2005 ; 48(9) : 1114-28.