



UNIVERSITE DU DROIT ET DE LA SANTE - LILLE 2  
**FACULTE DE MEDECINE HENRI WAREMBOURG**

Année : 2017

THESE POUR LE DIPLOME D'ETAT  
DE DOCTEUR EN MEDECINE

**Détermination des seuils de sensibilité aux contrastes en fonction de la  
fréquence spatiale et de l'excentricité chez le sujet sain**

Présentée et soutenue publiquement le 20 juin 2017 à 18h  
au Pôle Formation

**Par Maxime ANSQUIN**

---

**JURY**

**Président :**

**Monsieur le Professeur ROULAND Jean-François**

**Assesseurs :**

**Monsieur le Professeur LABALETTE Pierre**

**Monsieur le Professeur CHEVALIER Dominique**

**Directeur de Thèse :**

**Madame le Docteur BOUCART Muriel**

---

## **Avertissement**

**La Faculté n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses : celles-ci sont propres à leurs auteurs.**

## Liste des abréviations

Asb	Apostilb
cpd	Cycle par degré
cm	Centimètre
CV	Champ visuel
dB	Décibel
DMLA	Dégénérescence maculaire liée à l'âge
ET	Ecart-type
FAST	Functional Adaptive Sequential Testing
FS	Fréquence Spatiale
FSC	Fonction de sensibilité aux contrastes
GPAO	Glaucome primitif à angle ouvert
IN	Inféro-nasal
IT	Inféro-temporal
ms	Milliseconde
MMSE	Mini Mental state examination
PBJ	Périmétrie Bleu-Jaune
PIO	Pression intra-oculaire
SN	Supéro-nasal
ST	Supéro-temporal

# Table des matières

<b>Résumé .....</b>	<b>1</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>I. Rappel concernant les voies visuelles .....</b>	<b>1</b>
A. Anatomie de la voie rétino-géniculo-thalamique .....	1
B. Physiologie des différentes voies visuelles.....	8
1. Voie Parvocellulaire .....	10
2. Voie Magnocellulaire .....	10
3. Voie Koniocellulaire .....	11
C. Atteinte des voies visuelles dans le glaucome .....	12
<b>II. Les champs visuels .....</b>	<b>12</b>
A. La périmétrie cinétique manuelle .....	12
1. Principe.....	12
2. Résultats obtenus .....	13
B. La périmétrie statique automatisée .....	13
1. Les principes .....	13
2. Les indices globaux.....	15
C. Périmétrie automatisée Bleu – Jaune .....	16
1. Principes .....	16
2. Résultats .....	17
D. Périmétrie à doublage de fréquence (FDT-Matrix).....	17
1. Principe.....	17
2. Résultats .....	19
a) Humphrey FDT Perimeter .....	19
b) Humphrey FDT-Matrix.....	19
<b>III. La fonction de sensibilité aux contrastes .....</b>	<b>20</b>
A. Généralités .....	20
B. Définitions.....	21
C. Représentation de résultats de sensibilité spatiale aux contrastes avec des réseaux sinusoïdaux .....	23
1. Généralités .....	23
2. Méthodes de détermination des seuils .....	23
3. Appareils de mesure.....	24
4. Résultats de l'étude de la sensibilité spatiale aux contrastes chez le sujet sain .....	27
5. Facteurs influençant la variation de la courbe.....	29
a) Environnement et conditions du test .....	29
b) Excentricité .....	30
c) Age.....	31
d) Taille des pupilles .....	33

e) Optique .....	33
f) Chirurgies intra-oculaires.....	34
g) Pathologies oculaires .....	34

<b>IV. Intérêt de la détermination des seuils de sensibilité spatiale aux contrastes en fonction de l'excentricité chez le sujet sain.....</b>	<b>37</b>
--	-----------

<b>Matériels et méthodes .....</b>	<b>40</b>
------------------------------------	-----------

<b>I. Population .....</b>	<b>40</b>
----------------------------	-----------

<b>II. Matériels .....</b>	<b>41</b>
----------------------------	-----------

A. Caractéristiques du dispositif.....	41
--	----

B. Caractéristiques du stimulus.....	43
--------------------------------------	----

<b>III. Protocole .....</b>	<b>45</b>
-----------------------------	-----------

A. Installation du sujet.....	45
-------------------------------	----

B. 1 <sup>ère</sup> phase de l'étude : choix manuel statique chez le sujet sain .....	46
---	----

C. 2 <sup>ème</sup> phase de l'étude : test séquentiel adaptatif fonctionnel (FAST) chez le sujet sain (77)	47
---	----

D. 3 <sup>ème</sup> phase : méthode des limites chez le sujet sain.....	48
---	----

<b>IV. Données recueillies .....</b>	<b>49</b>
--------------------------------------	-----------

<b>Résultats .....</b>	<b>51</b>
------------------------	-----------

<b>I. Résultats de la phase 1 : choix manuel statique .....</b>	<b>51</b>
---	-----------

<b>II. Résultats de la phase 2 : test séquentiel adaptatif fonctionnel (FAST) .....</b>	<b>55</b>
---	-----------

<b>III. Résultats de la phase 3 : méthode des limites .....</b>	<b>58</b>
---	-----------

A. Données générales.....	58
---------------------------	----

A. Fonction de sensibilité au contraste central .....	58
---	----

B. Fonction de sensibilité en fonction de l'excentricité .....	60
--	----

<b>Discussion .....</b>	<b>68</b>
-------------------------	-----------

<b>Conclusion.....</b>	<b>74</b>
------------------------	-----------

<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>77</b>
---	-----------

## RESUME

**Contexte** : De nombreuses pathologies oculaires entraînent une altération de la sensibilité aux contrastes spatiaux en rapport avec une atteinte des voies visuelles, mais peu d'études se sont intéressées à ce paramètre dans la périphérie du champ visuel.

**Méthode** : le dispositif expérimental comprend 4 écrans présentant un stimulus variant sur la fréquence spatiale et le contraste à 13 points différents du champ visuel. Après approche du seuil de contraste par choix manuel statique puis test séquentiel adaptatif, nous avons déterminé un seuil par la méthode des limites.

**Résultats** : 40 yeux de 20 participants de 2 groupes d'âge différents : 20-30 ans et 50-70 ans ont été inclus pour la dernière phase de l'étude. Nous avons observé une sensibilité aux contrastes plus basse dans le groupe 50-70 ans au centre et en périphérie pour toutes les fréquences spatiales. La sensibilité aux contrastes baisse quand l'excentricité augmente. Le pic de sensibilité se situe à 0,8 cpd pour tous les tests sauf au centre pour les 20-30 ans où il est à 2 cpd.

**Conclusion** : Nous avons pu déterminer des seuils de sensibilité en fonction de la fréquence spatiale pour toutes les excentricités et dans les 2 groupes d'âge dans le but de créer une norme pour ce dispositif expérimental. Ces normes serviront pour étudier les pathologies oculaires et explorer les différentes voies visuelles.



## INTRODUCTION

### I. Rappel concernant les voies visuelles

#### A. Anatomie de la voie rétino-géniculo-thalamique

L'œil humain est sensible à un spectre électromagnétique allant des longueurs d'onde de 390 nanomètres (violet) à 780 nanomètres (rouge). Quand la lumière arrive sur la rétine, son énergie est convertie en signal électrochimique par les photorécepteurs, puis ce signal est transmis par les neurones.

Les photorécepteurs sont des cellules qui permettent de transformer l'énergie transportée par la lumière en signal électro-physiologique : c'est ce que l'on appelle la phototransduction (1).

La rétine est composée de deux types de photorécepteurs : les cônes et les bâtonnets. Les 5 à 6 millions de cônes permettent la vision des couleurs et la vision fine, ils sont de plus en plus nombreux de la périphérie vers le centre. Les 80 à 120 millions de bâtonnets permettent la vision scotopique et la vision périphérique, ils sont répartis sur toute la rétine excepté la fovéa.

Les photons sont alors absorbés par le photopigment visuel au niveau des segments externes des photorécepteurs. Le photopigment est constitué par le 11 cis retinal (un chromophore) et l'opsine (une protéine). Au niveau des cônes, il existe trois types d'opsine que l'on appelle alors iodopsine, avec chacune un spectre d'absorption différent : S pour le bleu, M pour le vert et L pour le rouge. Au niveau des bâtonnets, cette protéine est appelée rhodopsine.

Le signal lumineux est alors transcrit en potentiel d'action neuronale, qui va être transmis jusqu'au cortex cérébral.

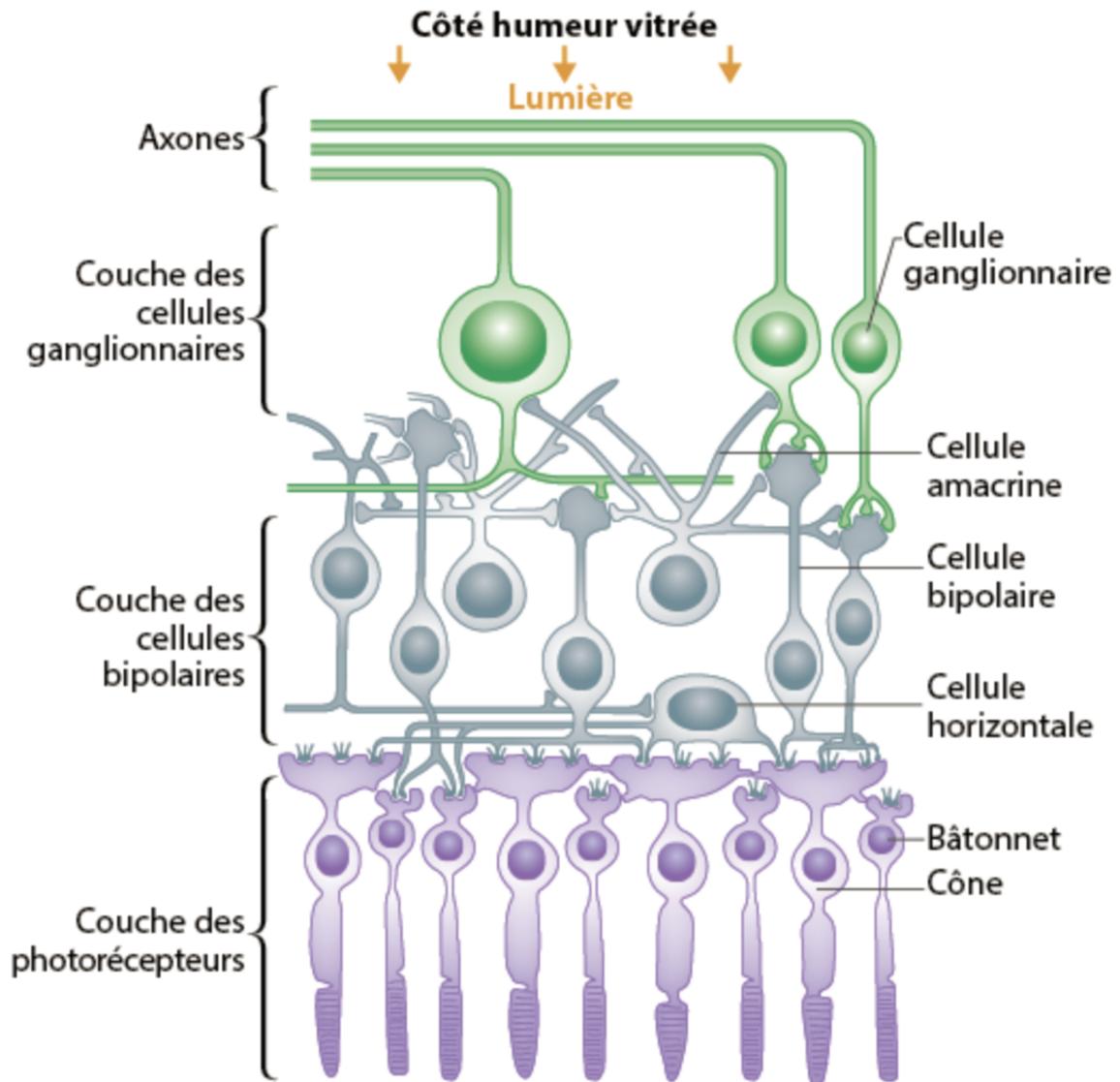
Les photorécepteurs font ensuite synapse avec les cellules bipolaires.

Chaque cône est en relation avec un couple de cellules bipolaires : une ON qui se dépolarise à la lumière et une OFF qui s'hyperpolarise à la lumière. Les photorécepteurs sont également mis en réseau par des cellules horizontales A inhibitrices et B excitatrices.

Les cellules bipolaires des bâtonnets sont exclusivement ON et se dépolarisent à la lumière. Ces cellules ganglionnaires font un relai obligatoire avec les cellules amacrines All qui vont inhiber, à la lumière, les cellules ganglionnaires OFF. Mais les cellules amacrines vont également stimuler les cellules ganglionnaires ON soit directement soit par l'intermédiaire des cellules bipolaires ON.

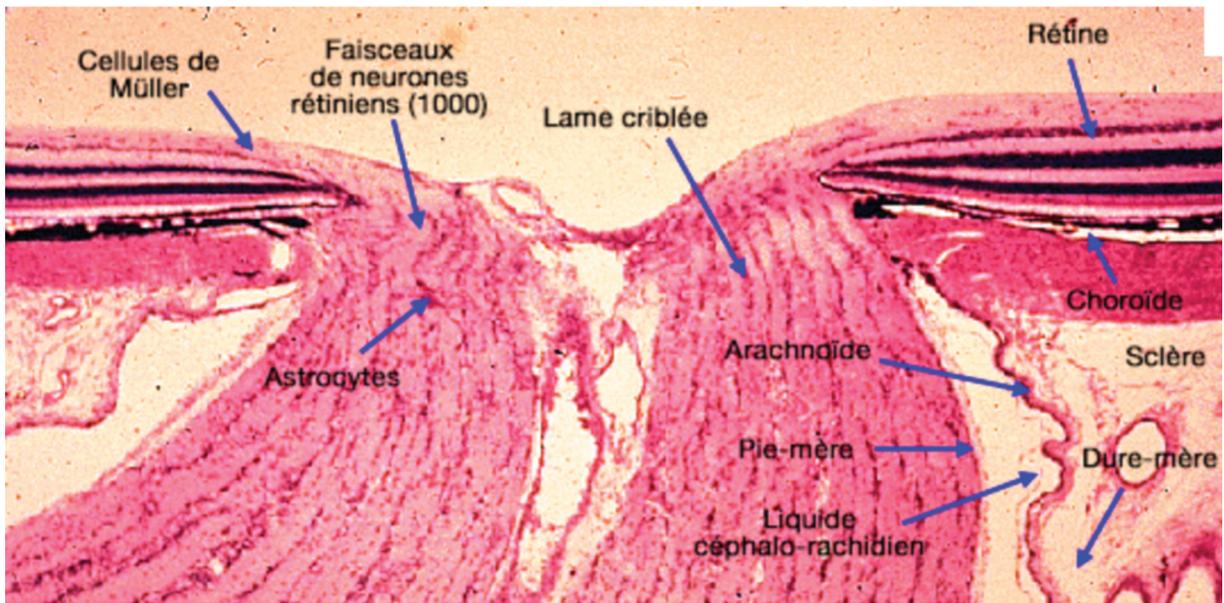
On compte un million de cellules ganglionnaires pour 100 millions de photorécepteurs. Les axones des cellules ganglionnaires cheminent vers la papille dans la couche des fibres optiques (2) (figure 1). Ils feront ensuite synapse au niveau des corps géniculés. On distingue les cellules ganglionnaires à centre ON et les cellules ganglionnaires à centre OFF. Le champ récepteur augmente avec l'excentricité de la cellule par rapport à la fovéa (3).

Le système neurovisuel est donc constitué de quatre neurones dont deux sont intrarétiniens : la cellule photoréceptrice et le neurone bipolaire. Ce dernier fait le contact entre la cellule sensorielle (les photorécepteurs) et la cellule ganglionnaire.

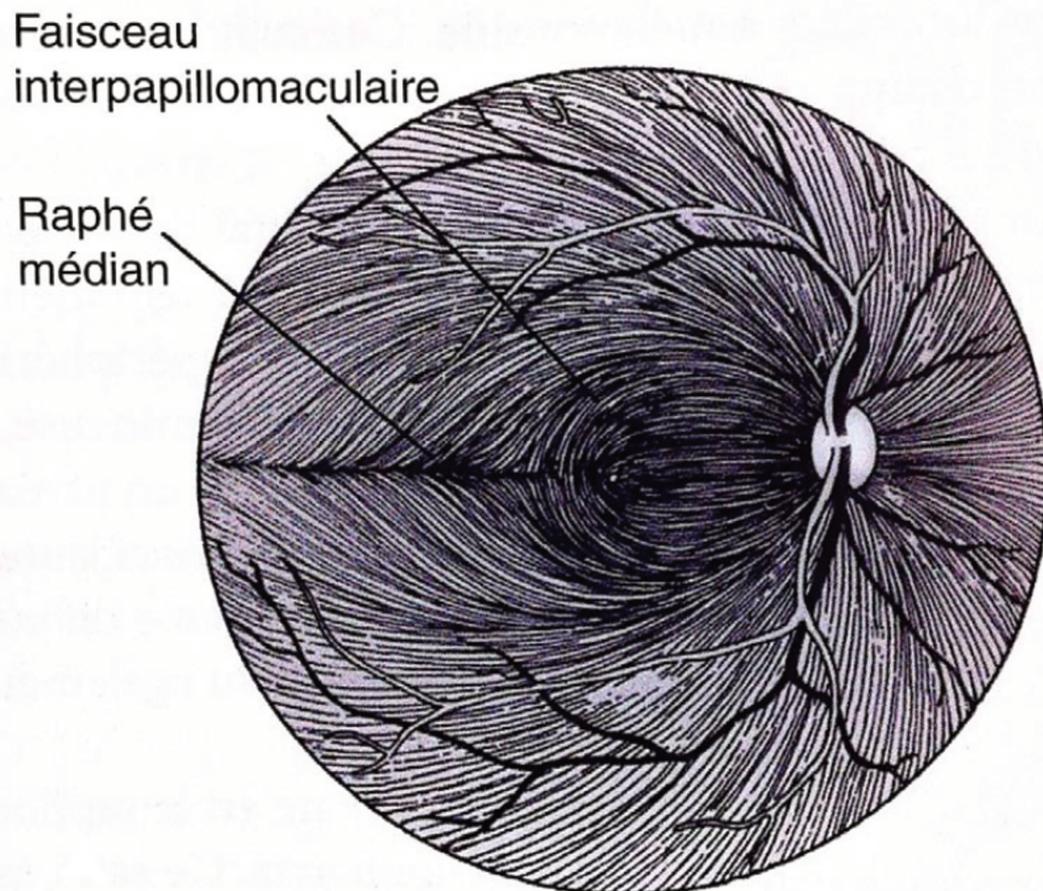


**Figure 1** : schéma de l'organisation cellulaire de la rétine

La papille est la région de convergence des fibres visuelles qui vont alors bifurquer à angle droit pour se diriger en arrière. Les axones des cellules ganglionnaires traversent la sclère par les 250 pores de la lame criblée pour se jeter dans le canal optique et former le nerf optique. Du fait de la multiplication du nombre d'astrocytes, d'oligodendrocytes et de la présence de myéline, le nerf optique s'épaissit en arrière de la lame criblée (2) (figure 2). Le nerf optique est constitué de cellules ganglionnaires nasales, correspondant à l'hémichamp temporal, et de cellules ganglionnaires temporales, correspondant à l'hémichamp nasal. La position des fibres respecte un raphé médian (figure 3).



**Figure 2** : coupe anatomique de rétine

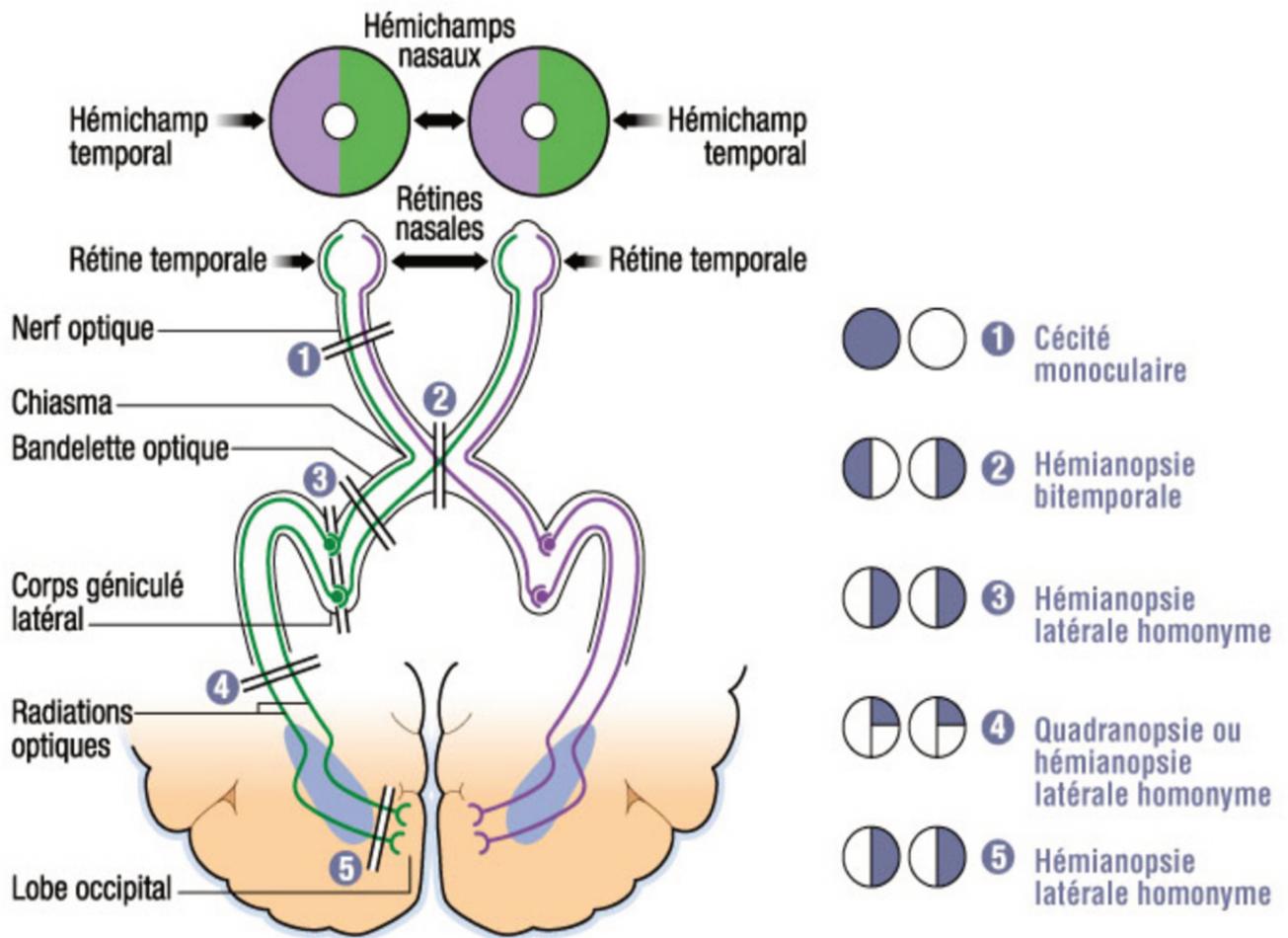


**Figure 3** : trajet des fibres optiques

Le chiasma optique constitué par la réunion des deux nerfs optiques, correspond à la zone de décussation des cellules ganglionnaires nasales. Les cellules ganglionnaires temporales (correspondant à l'hémichamp nasal) ne décussent pas. Les cellules ganglionnaires issues de l'hémirétine nasale (correspondant à l'hémichamp visuel temporal) décussent au niveau de la partie centrale du chiasma.

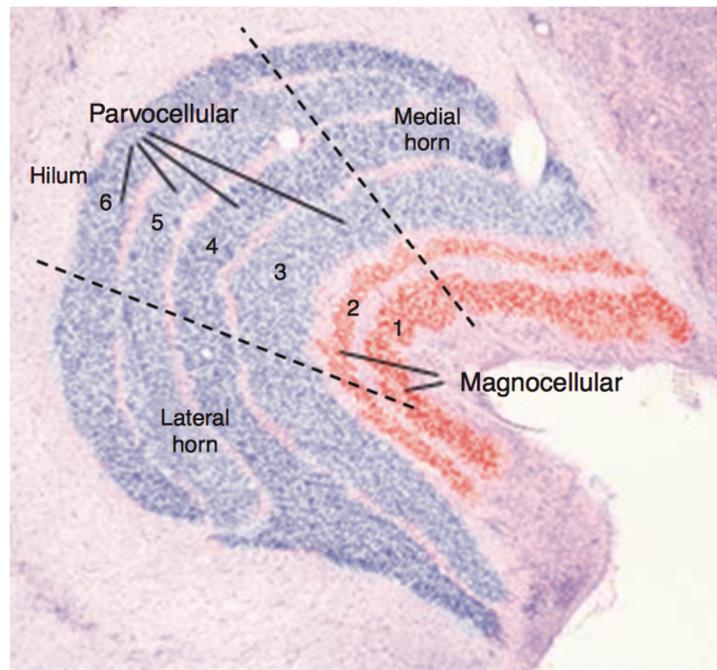
Les cellules ganglionnaires fovéolaires, quant à elles, décussent à 50% indépendamment de leur localisation (4). Il existe donc une épargne maculaire dans les hémianopsies latérales homonymes.

En aval du chiasma optique, les bandelettes optiques s'élargissent pour rejoindre le corps géniculé (figure 4).



**Figure 4** : schéma des voies optiques

Les corps géniculés sont le lieu de synapse de 90% des cellules ganglionnaires. Au niveau des corps géniculés, l'organisation est rétinotopique : sur une coupe coronale d'un noyau géniculé, la partie maculaire est située au centre, la partie supérieure de l'hémichamp sur la partie latérale, et sa partie inférieure sur la partie médiale (5). On parle alors d'organisation rétinotopique au niveau des corps géniculés (6) (figure 5).



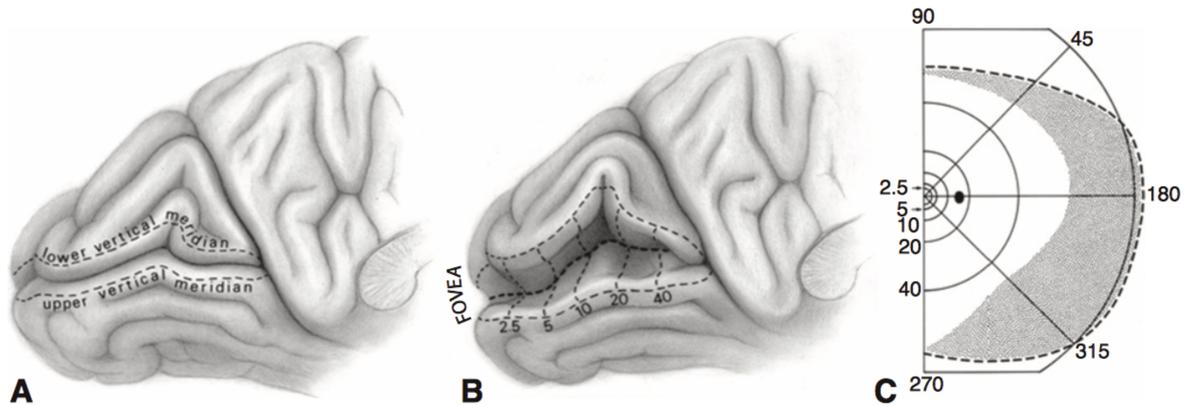
**Figure 5 :** coupe histologique d'un noyau géniculé. Les couches 1 et 2 correspondent aux couches de la voie magnocellulaire, et les couches 3 à 6 à la voie parvocellulaire. Le centre de la coupe correspond au champ visuel central, la partie médiale au champ visuel inférieur, et la partie latérale au champ visuel supérieur (d'après Prasad et Galetta, 2011 (5))

Les radiations optiques sont formées par les neurones relais (quatrième neurone) issus des noyaux géniculés et qui vont se projeter vers le cortex visuel. Les fibres vont se diviser en contingent antérieur qui contourne la corne temporale en avant, et contingent postérieur qui enjambe le corps du ventricule latéral. Les radiations optiques se regroupent et vont cheminer dans la substance blanche occipitale jusqu'aux aires corticales visuelles.

Le cortex visuel primaire est situé de part et d'autre du sillon calcarin. Il est situé à la face interne des lobes occipitaux et constitue les aires 17 de Brodmann (V1), de forme triangulaire à sommet antérieur et partagé en deux par la scissure calcarine (figure 6).

L'organisation se fait de manière rétinotopique selon deux directions. Dans la direction verticale : la partie inférieure du Champ Visuel (CV) se projette dans la partie supérieure du sillon calcarin. Dans la direction postéro-antérieure, la partie

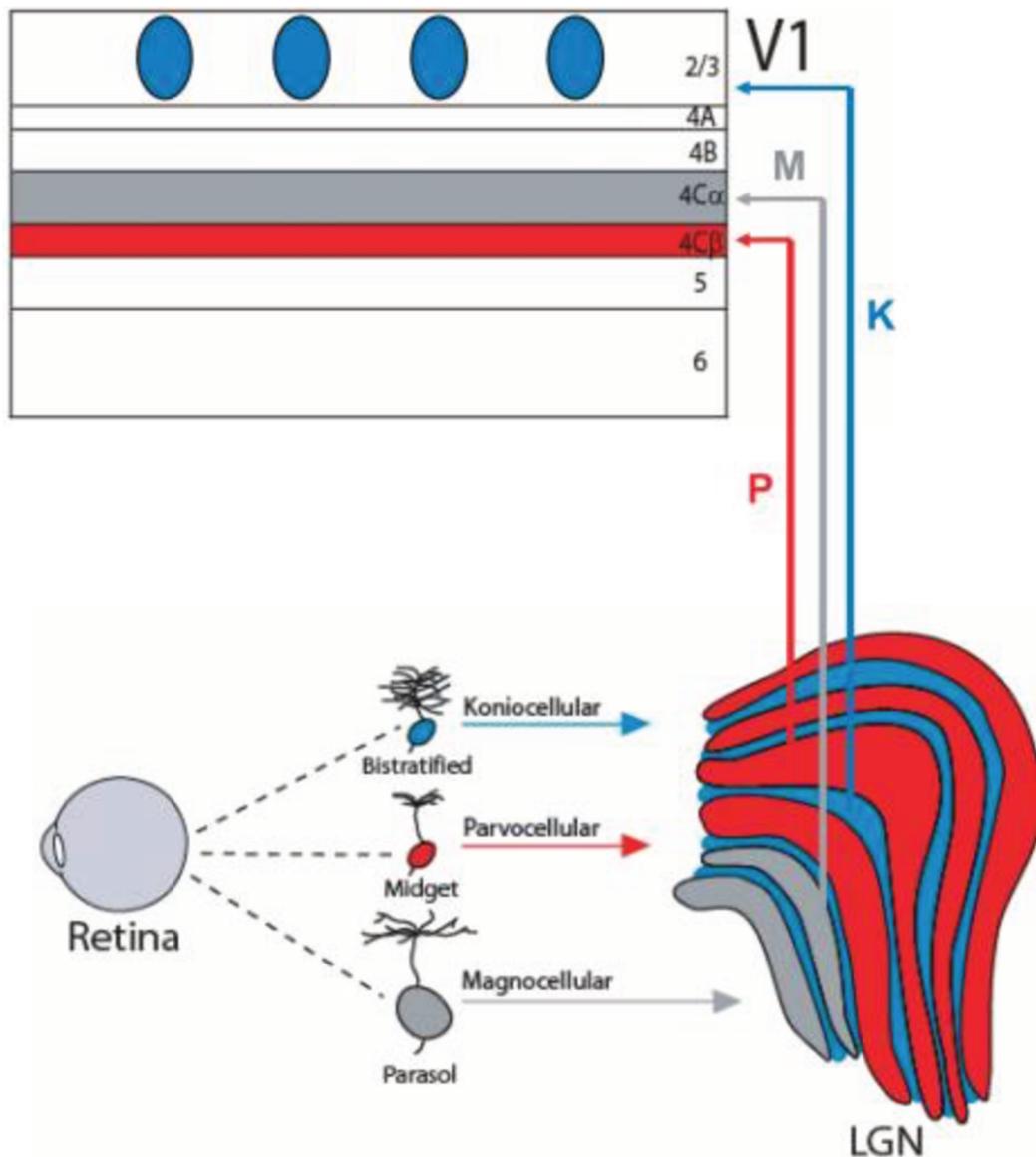
centrale du CV se projette dans la partie postérieure, et la partie la plus périphérique du CV se projette dans la partie antérieure, près du sillon occipito-pariétal (7–9).



**Figure 6 :** Organisation rétinotopique au niveau du cortex cérébral. **A :** Lobe occipital gauche avec la fissure calcarine. Les pointillés délimitent l'aire V1 montrant les méridiens verticaux supérieurs et inférieurs de l'hémichamp controlatéral. **B :** Le gyrus est écarté pour montrer le sillon calcarin avec son organisation rétinotopique, représenté en degré par rapport à la fovéa. **C :** le champ visuel controlatéral avec représentation en degré par rapport à la fovéa. (d'après Horton et Hoyt, 1991 (7))

## B. Physiologie des différentes voies visuelles

La voie rétino-géniculo-corticale est la voie de la vision consciente. Dans les études faites sur le primate, elle correspond à environ 90% des cellules ganglionnaires de la rétine. D'après l'étude de l'architecture des corps géniculés, on retrouve la description de six couches correspondant à trois types de canaux visuels : les voies magnocellulaires (les deux couches ventrales), parvocellulaires (les quatre couches dorsales) et koniocellulaires (couches interlaminaires entre les deux précédentes). Les cellules en parasol se projettent dans les couches magnocellulaires (les deux couches inférieures), les cellules naines dans les couches parvocellulaires, et les cellules bi-stratifiées dans les inter-couches koniocellulaires (figure 7). Les neurones faisant relais au niveau des corps géniculés dans chacune de ces couches ont des projections corticales différentes (2,10).



**Figure 7 :** Représentation des trois types de canaux visuels. Les cellules ganglionnaires bistratifiées, naines et parasols sont bien individualisées et restent anatomiquement séparées et distinctes à travers le noyau géniculé latéral (LGN) et dans le cortex visuel (V1). En gris : les cellules parasols de la voie magnocellulaire (M) se projettent dans les couches des noyaux géniculés et dans la couche 4C $\alpha$  de l'aire V1. En rouge : les cellules naines de la voie parvocellulaire (P), passant au sein du noyau géniculé, se projettent dans la couche 4C $\beta$  de l'aire V1. En bleu : les cellules bistratifiées de la voie koniocellulaire (K), passant par le noyau géniculé, se projettent sur la couche 2/3 de l'aire V1 (D'après Nassi et Callaway (10)).

## 1. Voie Parvocellulaire

Il s'agit de la voie majoritaire provenant des cellules ganglionnaires naines et représentant 50% de l'ensemble des cellules ganglionnaires.

Les cellules ganglionnaires naines ont une densité qui diminue du centre, où elles représentent 90% des cellules ganglionnaires, vers la périphérie où elles représentent 10% des cellules ganglionnaires. Elles ne reçoivent des informations que des cônes rouges et verts, et leurs champs récepteurs comporte de plus en plus de cônes du centre vers la périphérie.

Cette voie présente des axones de petits diamètres ayant une conduction lente des influx nerveux.

La voie parvocellulaire servirait pour l'acuité visuelle fine et la discrimination des couleurs. Elle permettrait également la sensibilité aux contrastes des basses fréquences temporelles et des hautes fréquences spatiales (11).

La voie parvocellulaire participe principalement à la voie corticale ventrale impliquée dans la reconnaissance des formes et des couleurs.

L'exploration spécifique de la voie parvocellulaire se fait par la périmétrie « high-pass resolution » (12) et la périmétrie rouge-vert (13).

## 2. Voie Magnocellulaire

Les cellules ganglionnaires parasols se projettent dans les couches magnocellulaires. Cette voie présente des neurones ayant des axones de grands diamètres, ce qui explique la conduction rapide de cette voie.

Le nombre de cellules ganglionnaires parasols diminue du centre vers la périphérie, et elles sont plus nombreuses dans la partie nasale de la rétine (14).

La voie magnocellulaire participe principalement à la voie corticale dorsale qui est impliquée dans l'analyse du mouvement et des rapports dans l'espace.

Cette voie permettrait la sensibilité aux contrastes ayant des hautes fréquences temporelles (images en déplacements rapides sur la rétine ou papillotements rapides

de tâches lumineuses) et des basses fréquences spatiales. Elle permet donc de signaler efficacement les changements brusques et rapides de luminance. Elle ne jouerait pas de rôle dans l'acuité visuelle et la discrimination des couleurs.

Le champ récepteur de la voie magnocellulaire est plus important que celui des cellules de la voie parvocellulaire. Cela permet donc une meilleure discrimination des faibles contrastes mais provoque une perte de la discrimination des détails fins.

L'exploration de la voie magnocellulaire se fait actuellement par la périmétrie à doublage de fréquence ou FDT-Matrix (15) qui repose sur un phénomène optique que nous verrons plus loin. L'illusion d'optique est engendrée par un sous-ensemble de cellules ganglionnaires (My) de la voie magnocellulaire (cellules M). Celles-ci possèdent des fibres axonales de grands diamètres qui seraient atteintes électivement et précocement lors de la maladie glaucomateuse.

### **3. Voie Koniocellulaire**

Les cellules ganglionnaires bistratifiées se projettent dans les couches koniocellulaires, elles représentent environ 5% des cellules ganglionnaires de la rétine et font synapse, à deux reprises dans la couche plexiforme.

Les cellules ganglionnaires bistratifiées vont transmettre les informations des cônes S : les signaux bleus ON qui sont sensibles aux courtes longueurs d'onde (16).

La voie koniocellulaire participe principalement à la voie corticale ventrale.

L'exploration de la voie koniocellulaire peut se faire par la périmétrie bleu-jaune qui ne détecte que les déficits légers des 20° centraux (17).

## **C. Atteinte des voies visuelles dans le glaucome**

Initialement, on pensait que le glaucome se caractérisait par une perte sélective des cellules ganglionnaires larges, c'est-à-dire des voies magnocellulaires et koniocellulaires (18,19).

Il semblerait cependant que l'atteinte soit plus complexe.

On estime ainsi qu'il n'y aurait pas de perte préférentielle de l'une de ces voies. Il a été démontré que les trois voies étaient atteintes de mort cellulaire de manière similaire (20).

Cependant, les conséquences sur le plan fonctionnel d'un glaucome présentant une atteinte du CV serait tout à fait différente de l'atteinte retrouvée sur les champs visuels blanc-blanc. Et la carte des niveaux de gris serait très éloignée de ce que perçoit réellement le patient glaucomateux.

## **II. Les champs visuels**

### **A. La périmétrie cinétique manuelle**

La périmétrie cinétique de Goldmann a permis une meilleure connaissance et une meilleure compréhension du glaucome.

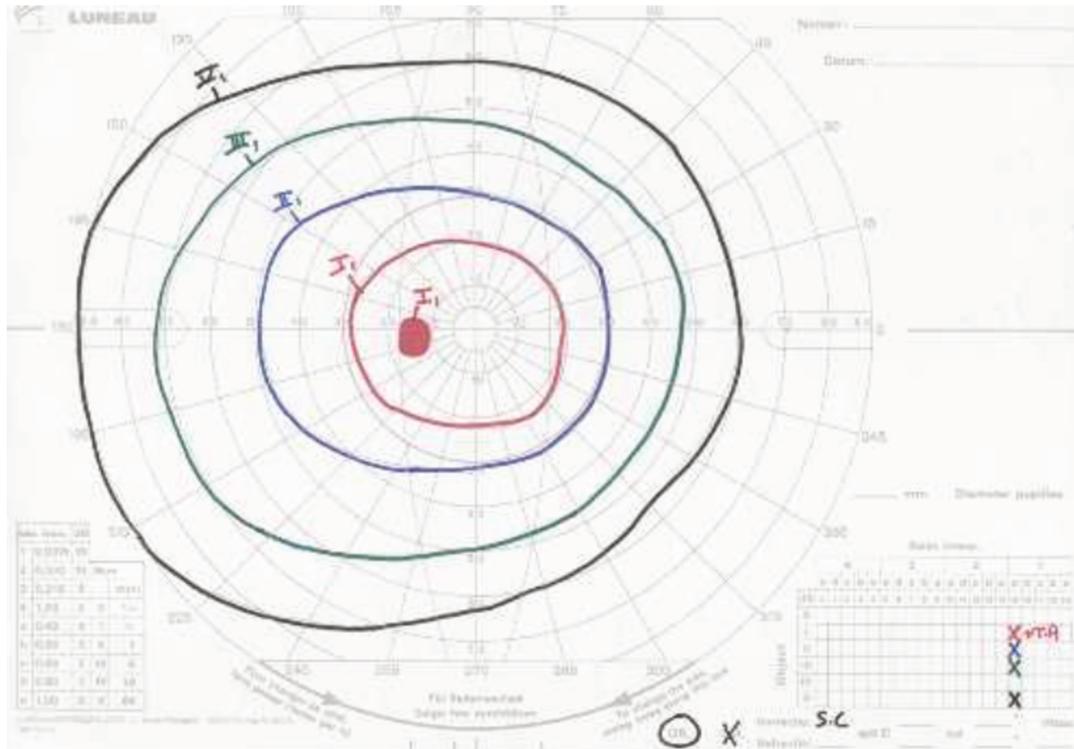
#### **1. Principe**

Des stimuli, de taille et de luminosité connues, sont présentés au patient de la périphérie vers le centre. On note sur un schéma l'emplacement lorsque le stimulus est perçu par le patient.

Les isoptères sont l'ensemble des points de même sensibilité lumineuse reliés entre eux. Différents isoptères sont dessinés en fonction de la taille de la luminosité du stimulus (figure 8).

## 2. Résultats obtenus

Des variations inter-individuelles existent, mais globalement le champ visuel s'étend à 60° en nasal et supérieur, 75° en inférieur et 100° en temporal. La sensibilité diminue avec certaines pathologies mais également en fonction de l'âge. Il est donc important d'analyser les résultats en fonction de la tranche d'âge (21).



**Figure 8 :** Périométrie cinétique manuelle de Goldmann normale d'un œil gauche (D'après J.-P. Nordmann (21))

## B. La périométrie statique automatisée

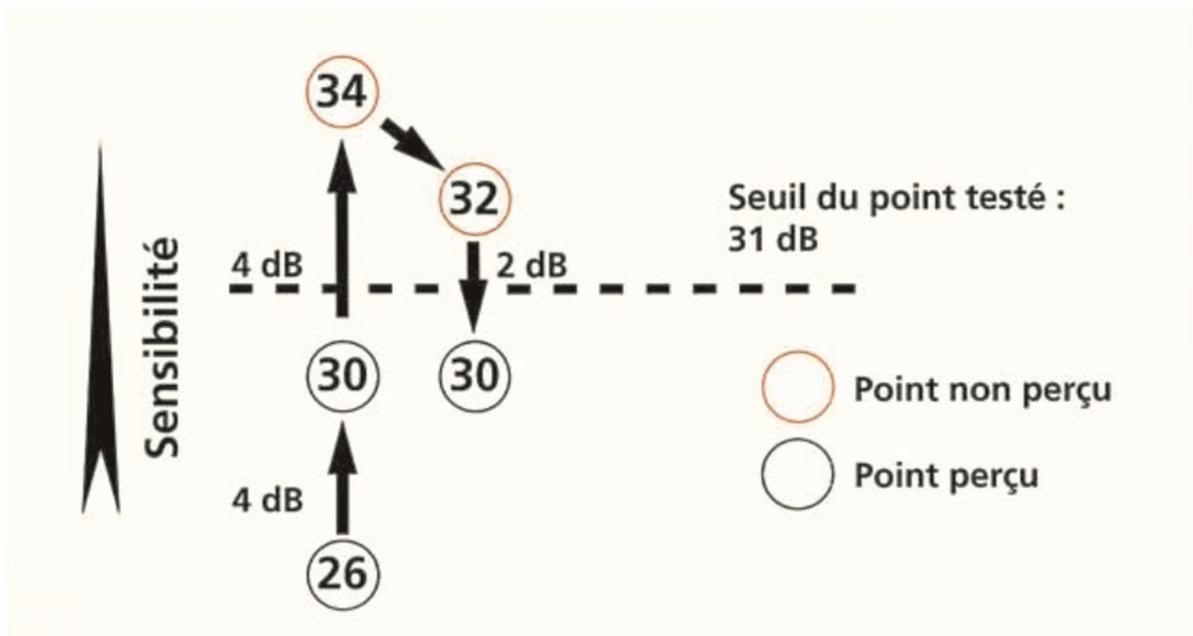
### 1. Les principes

Dans le glaucome primitif à angle ouvert (GPAO), le dépistage et le suivi se font principalement par la périométrie automatisée statique, de type Humphrey ou Octopus.

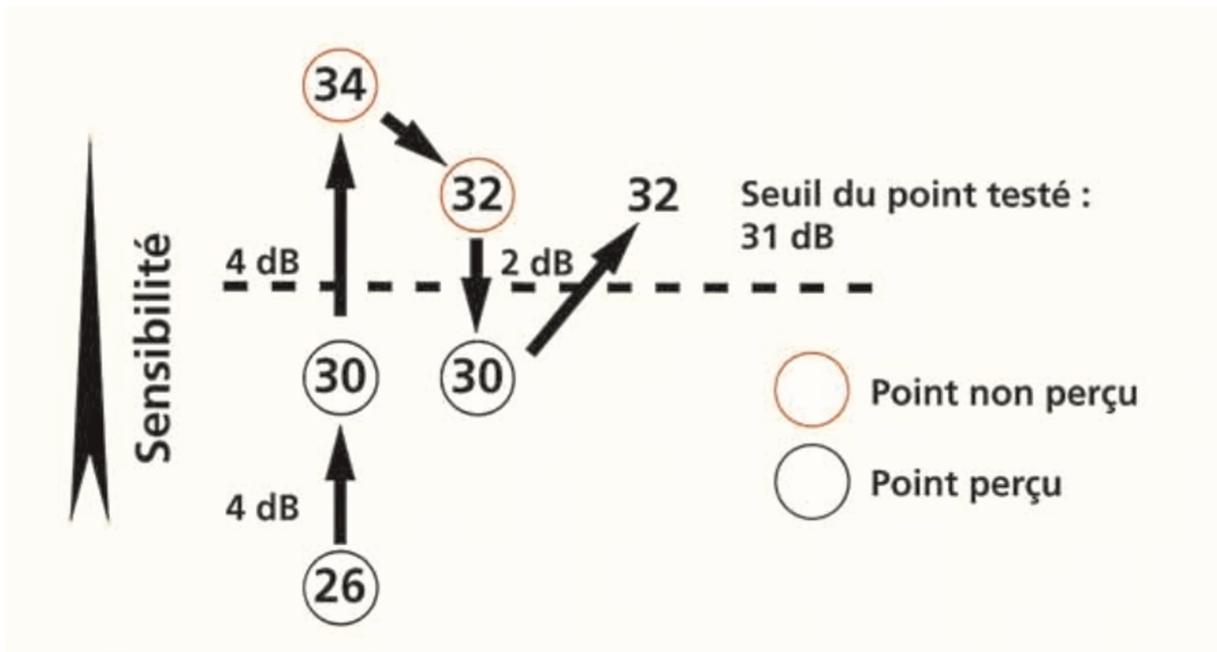
La périmétrie statique consiste à mesurer la sensibilité lumineuse différentielle de points répartis dans plusieurs régions du champ visuel. Il s'agit de la capacité à détecter un spot d'une luminosité donnée au sein d'un fond qui est lui-même illuminé.

Les luminosités des stimuli et du fond sont mesurées en apostilb (asb). Les spots peuvent varier de 1 asb à plus de 10 000 asb. Mais les périmètres expriment leurs résultats en décibel (dB).

Le programme informatique qui est intégré dans le champ visuel utilise des algorithmes afin de tester à plusieurs reprises un même point, tout en diminuant le temps de l'examen. Les algorithmes utilisés sont de type 4-2 ou 4-2-2 le plus souvent (figure 9 et 10).



**Figure 9 :** Algorithme 4-2. Le but est d'obtenir deux changements de perception (spot vu puis non vu ou l'inverse) en débutant le test par des pas de 4dB, puis en les réduisant de 2dB dès le 1<sup>er</sup> changement de perception obtenu. Le seuil correspond alors à la moyenne entre les deux derniers tests (D'après J.-P. Nordmann (22)).



**Figure 10 :** Algorithme 4-2-2. Initialement similaire à l'algorithme 4-2 mais le test est poursuivi afin d'obtenir trois changements de perception (« vu » puis « non-vu » puis de nouveau « vu » ou inversement) (D'après J.-P. Nordmann (22))

Des stratégies spécifiques ont été adoptées pour le glaucome comme le SITA (Swedish Interactive Threshold Algorithm) développé par Humphrey, qui permet de comparer les résultats du sujet à une importante base de données de patients. Cette méthode permet notamment de diminuer le temps de l'examen.

Les programmes les plus utilisés sur le champ visuel de type Humphrey sont :

- Les tests de seuils centraux 30-2 : étude des 30 degrés centraux, avec 76 points testés.
- Les tests de seuils 24-2 : étude des 24 degrés centraux et 30 degrés nasaux, avec 54 points testés.
- Les tests de seuils 10-2 : étude des 10 degrés centraux, 68 points testés.

## 2. Les indices globaux

Différents indices globaux sont obtenus à l'issue de la réalisation du test, sur les champs visuels Humphrey ou Octopus :

- La déviation moyenne (Mean Deviation du Humphrey ou Mean Defect de l'Octopus) : différence entre la sensibilité rétinienne normale pour l'âge et la sensibilité rétinienne du sujet testé. Une classification basée sur la Mean Deviation existe pour caractériser la sévérité du glaucome (classification de Hoddap-Parrish (23)) :
  - De 0 à -6 dB : glaucome débutant
  - De -6 à -12 dB : glaucome modéré
  - Plus de -12 dB : glaucome sévère
- La déviation individuelle (Pattern Standard Deviation du Humphrey ou Loss Deviation de l'Octopus) : cet indice calcule la différence de sensibilité rétinienne entre les différents points et les compare avec les valeurs normales. Cet indice permet la quantification des scotomes.
- La fluctuation à court terme (Short term Fluctuation du Humphrey et de l'Octopus) : indice de variabilité de la réponse au cours du test.
- La déviation individuelle corrigée (Corrected Pattern Standard Deviation de l'Humphrey et Corrected Loss Variance de l'Octopus) : déviation individuelle en tenant compte de la variation à court terme. Elle reflète la présence de scotomes.
- Indice d'asymétrie d'hémichamps (Glaucoma Hemifield Test) : il compare les hémichamps supérieurs et inférieurs.
- Indice de champ visuel (Visual Field Index) : évaluation de la capacité visuelle grâce à une pondération des points anormaux par rapport à leur proximité du point de fixation. Donc, plus un point anormal est proche du point de fixation, plus il va faire diminuer le VFI. Il s'exprime en pourcentage de 0 à 100.

## **C. Périmétrie automatisée Bleu – Jaune**

### **1. Principes**

La périmétrie bleu-jaune (PBJ) teste plus spécifiquement la voie koniocellulaire. Le contraste coloré bleu-jaune provient de l'antagonisme entre les signaux bleu ON

des cônes S et des messages OFF issus de la combinaison des signaux des cônes L et M, traités au niveau cortical.

La PBJ teste la voie koniocellulaire en évaluant l'antagonisme bleu-jaune au niveau de chaque point du champ visuel. Pour rappel, la voie koniocellulaire est issue des cônes S et elle est relayée par les CGR bistratifiées. Le principe de la PBJ est donc de détecter précocement une perte de ces cellules.

Le stimulus utilisé est issu des travaux de Stiles (24,25). Les paramètres permettent d'isoler le système S.

Le fond employé est une lumière jaune de 530 nm avec une luminance de 100cd/m<sup>2</sup>, ce qui a pour conséquence de saturer les systèmes M et L.

Le stimulus est bleu de 440nm de longueur d'onde. La durée de présentation est de 200 ms (26). Sa luminance est progressivement augmentée jusqu'à ce qu'il soit perçu.

Le protocole est le même que celui utilisé pour la périmétrie automatique statique.

## **2. Résultats**

La présentation des résultats est identique à celle de la périmétrie automatique statique.

La sensibilité diminue avec l'âge et celle-ci est bien plus importante que celle retrouvée en périmétrie automatique statique (27,28).

## **D. Périmétrie à doublage de fréquence (FDT-Matrix)**

### **1. Principe**

La périmétrie à doublage de fréquence évalue pour chaque point du champ visuel la sensibilité aux contrastes temporels.

Le stimulus visuel créant l'illusion de doublage de fréquence est un signal achromatique carré, présenté sur un écran avec un fond éclairé à 100 cd/m<sup>2</sup>. Il est

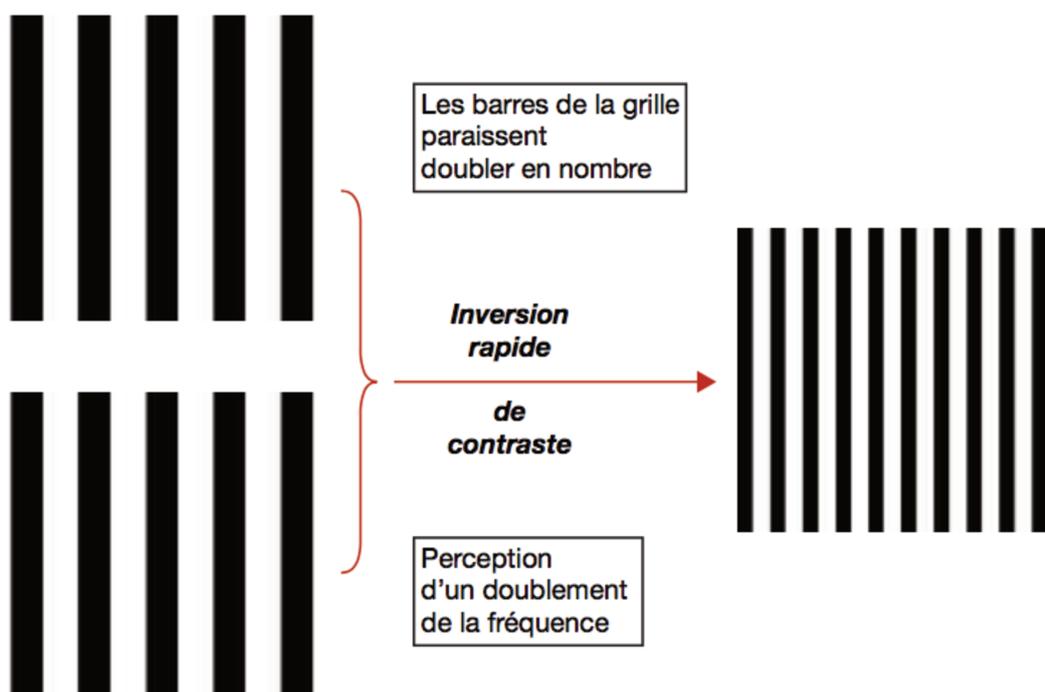
composé d'une alternance de barres verticales noires et blanches. Ce stimulus a un profil sinusoïdal de basse fréquence spatiale (FS), de 0,25 cycle/deg.

La fréquence temporelle est de 18 ou 25 Hz.

En augmentant le contraste progressivement, il se produit un phénomène d'illusion d'optique appelé doublage de fréquence car les barres verticales apparaissent deux fois plus nombreuses. Le stimulus est alors perçu comme un papillotement. Ce phénomène optique est créé par la superposition de la projection d'une grille de barres verticales blanches et noires sinusoïdales de basse fréquence spatiale et de haute fréquence temporelle, papillotantes (figure 11)

La durée de présentation est de 720ms.

Le seuil est exprimé en dB.



**Figure 11 :** Stimulus en périmétrie à doublage de fréquence. Lorsque le sujet perçoit un papillotement, il perçoit un doublement apparent du nombre de bandes noires et blanches (D'après F. May (21)).

Ce stimulus va principalement activer les cellules magnocellulaires Y. La réponse des cellules magnocellulaires Y est non linéaire, ce qui explique la sensation d'un saut lors du doublage de fréquence (29).

## 2. Résultats

### *a) Humphrey FDT Perimeter*

Il s'agit de la première génération de périmétrie qui utilise la technologie du double fréquences.

Les résultats comportent des indices globaux, des indices de fiabilité et 3 cartes : carte de seuil, carte de déviation individuelle et carte de déviation totale.

Ce type de test permet une détection précoce des déficits mais ne permet pas le suivi des patients glaucomateux (29–32).

### *b) Humphrey FDT-Matrix*

Il existe 5 types de programmes différents.

Le relevé des tests de seuil comprend les indices de fiabilité, la représentation en dB et en échelle de gris, les indices globaux, la carte de déviation totale et la carte de déviation individuelle.

C'est un examen rapide à réaliser : moins de 2 min pour le test de dépistage et moins de 5 min pour le test de seuil.

L'intérêt principal de cet examen est de dépister des déficits de façon précoce (33–36). Mais contrairement à la PBJ, la périmétrie à double fréquence n'est pas influencée par le degré de transparence des milieux oculaires.

Cependant cet examen est moins performant pour le suivi des déficits.

### III. La fonction de sensibilité aux contrastes

#### A. Généralités

Schade en 1956, puis Campbell en 1965 étudient la notion de fonction de transfert de la lumière à travers le système visuel, avec description d'un système qui se comporte comme un filtre passe-bande.

En 1956, Enroth-Cugell et Robson, en étudiant les cellules ganglionnaires rétiniennes chez le chat, établissent qu'il existe des groupes cellulaires neurorétiniens fonctionnellement indépendants. Ces groupes sont uniquement actifs aux différences de la luminance, et sensibles spécifiquement à chaque composant du spectre électromagnétique : fréquence spatiale, fréquence temporelle, longueur d'onde (37).

Les notions de sensibilité aux contrastes et de fréquence spatiale dans le cadre de la fonction visuelle ont été introduites par Schade. Mais ce sont Campbell et Maffei qui ont décrit l'importance de la capacité à discerner les contrastes pour la perception des détails (38).

La fonction de sensibilité aux contrastes (FSC) exprime les capacités du système visuel à détecter des différences de luminance sur des éléments de dimensions variées, qui sont soit statiques (sensibilité spatiale aux contrastes), soit dynamiques (sensibilité temporelle aux contrastes).

Lorsqu'on évalue la FSC, il s'agit d'un test global de la fonction visuelle neurosensorielle (39), qui donne beaucoup plus d'informations que la mesure de l'acuité visuelle. On explore alors des unités fonctionnelles et non des groupes cellulaires spécifiques. Cette notion est importante car elle permet de comprendre que des phénomènes pathologiques, même infracliniques puissent être détectés. La fonction visuelle peut donc être altérée par une atteinte de la vision des contrastes, tout en conservant l'acuité visuelle (40), c'est ce que l'on observe notamment chez les patients glaucomateux.

## B. Définitions

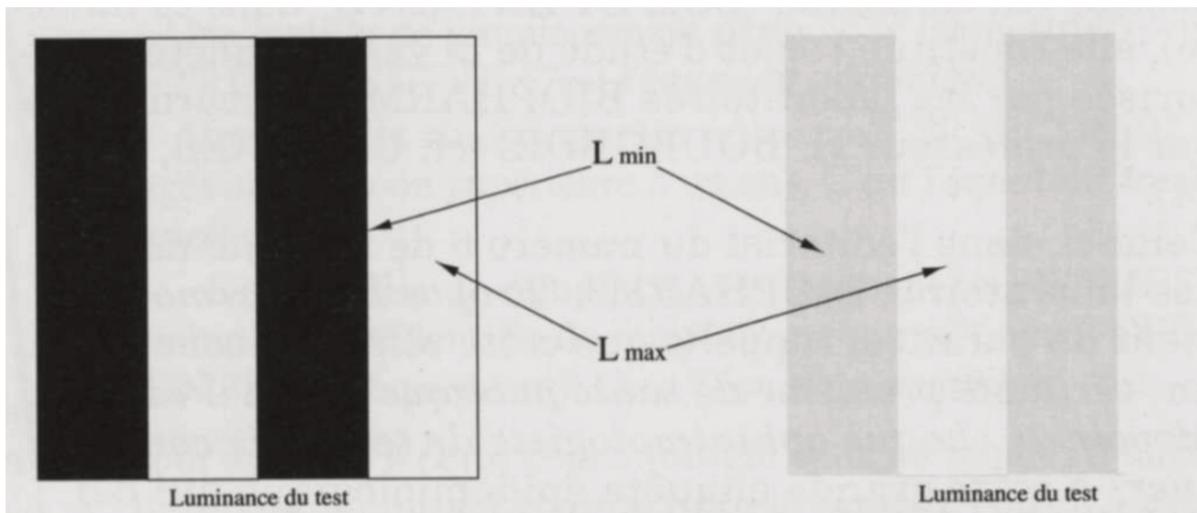
**La luminance** est le rapport de l'intensité lumineuse de la source divisée par la surface apparente. Elle est exprimée en candéla par mètre carré (cd/m<sup>2</sup>) ou en apostilb (asb).

**Le contraste** est la différence de luminance entre deux zones visibles. Il s'agit de la différence entre le maximum de luminance de bandes claires et le minimum de luminance de bandes foncées, rapportée à la somme de ces deux luminances (figure 12). En vision, il dépend de l'éclairage d'une image et des couleurs.

Le contraste de Michelson se définit ainsi :

$$\text{Contraste de Michelson} = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min})$$

$I_{\max}$  étant la luminance maximale et  $I_{\min}$  la luminance minimale



**Figure 12 :** barres verticales à fort contraste (90%) et faible contraste (10%)

**La sensibilité aux contrastes** est l'inverse du contraste :

$$S = 1 / C$$

S étant la sensibilité aux contrastes et C le contraste

Dans la plupart des études, la sensibilité aux contrastes est exprimée en décibel (dB) :

$$S = 10 \log (1/C)$$

*S étant la sensibilité aux contrastes (en dB) et C le contraste*

**La sensibilité spatiale aux contrastes** est la capacité de discerner une différence existant entre deux zones adjacentes de luminances différentes. Des images de tests constitués de réseaux à profil de luminance sinusoïdale ont ainsi été définies. Ces réseaux sont des barres alternativement claires et sombres définies par leur fréquence spatiale (en cycles par degré) et par leur contraste.

La fréquence spatiale est le nombre de paires claires/foncées par degré d'angle visuel, on la mesure en cycle par degré (cpd).

La luminance moyenne est la moyenne de luminance entre la barre la plus foncée et la plus claire.

Si la transition entre luminance maximale et luminance minimale est brusque, le pattern est appelé « square-wave grating ».

Si la transition entre luminance maximale et luminance minimale est graduée, le pattern est appelé « sine-wave grating ». Dans les études, ce sont ces derniers qui sont le plus utilisés.

**La sensibilité temporelle aux contrastes** est la capacité de discerner une différence entre deux zones de luminance différentes présentées de façon séquentielle.

La fréquence temporelle est le nombre d'alternances par seconde entre deux niveaux de luminance.

La luminance moyenne est la moyenne de luminance entre l'image la plus foncée et la plus claire.

Comme pour la sensibilité spatiale aux contrastes, si la transition entre luminance maximale et luminance minimale est brusque, le pattern est appelé « square-wave grating ».

Et si la transition entre luminance maximale et luminance minimale est graduée, le pattern est appelé « sine-wave grating ».

**Le seuil de contraste** est la plus petite différence de luminance qui va permettre la distinction d'un pattern.

Dans le cadre de l'étude d'une sensibilité spatiale, c'est la perception de barres alternantes plutôt qu'un fond homogène gris.

Dans le cadre de l'étude d'une sensibilité temporelle, c'est la perception d'une lumière alternante séquentielle (clignotante) plutôt qu'une lumière stable.

A partir de ce seuil de contraste, on peut déterminer le seuil de sensibilité aux contrastes avec la formule de conversion vu précédemment (la sensibilité est l'inverse du contraste).

## **C. Représentation de résultats de sensibilité spatiale aux contrastes avec des réseaux sinusoïdaux**

### **1. Généralités**

L'étude de la sensibilité aux contrastes consiste, en clinique, à tester la perception de réseaux sinusoïdaux.

L'examen de la sensibilité aux contrastes est basé sur une méthode psychophysique, tout comme la mesure de l'acuité visuelle. Cela sous-entend qu'elle nécessite la participation active du sujet. Le patient est placé à une distance définie des réseaux sinusoïdaux à tester, l'examen est réalisé en vision monoculaire. La comparaison des résultats du sujet, par rapport à un groupe témoin, ne peut se faire que dans des conditions ambiantes similaires : luminosité de la pièce, bruit ambiant et distance entre l'œil et le test (39,41). L'étude de la fonction de sensibilité doit être réalisée dans des conditions techniques rigoureuses et toujours identiques, sinon elle aboutit à des résultats non reproductibles.

### **2. Méthodes de détermination des seuils**

Plusieurs méthodes pour la détermination de la valeur seuil ont été décrites. Les trois techniques les plus utilisées sont les suivantes :

- Méthode du point central : le sujet règle lui-même le stimulus de façon à le faire apparaître puis disparaître de façon alternative, et s'arrête au bout de quelques oscillations amorties. La médiane ou la moyenne des observations est alors considérée comme la valeur la plus probable du

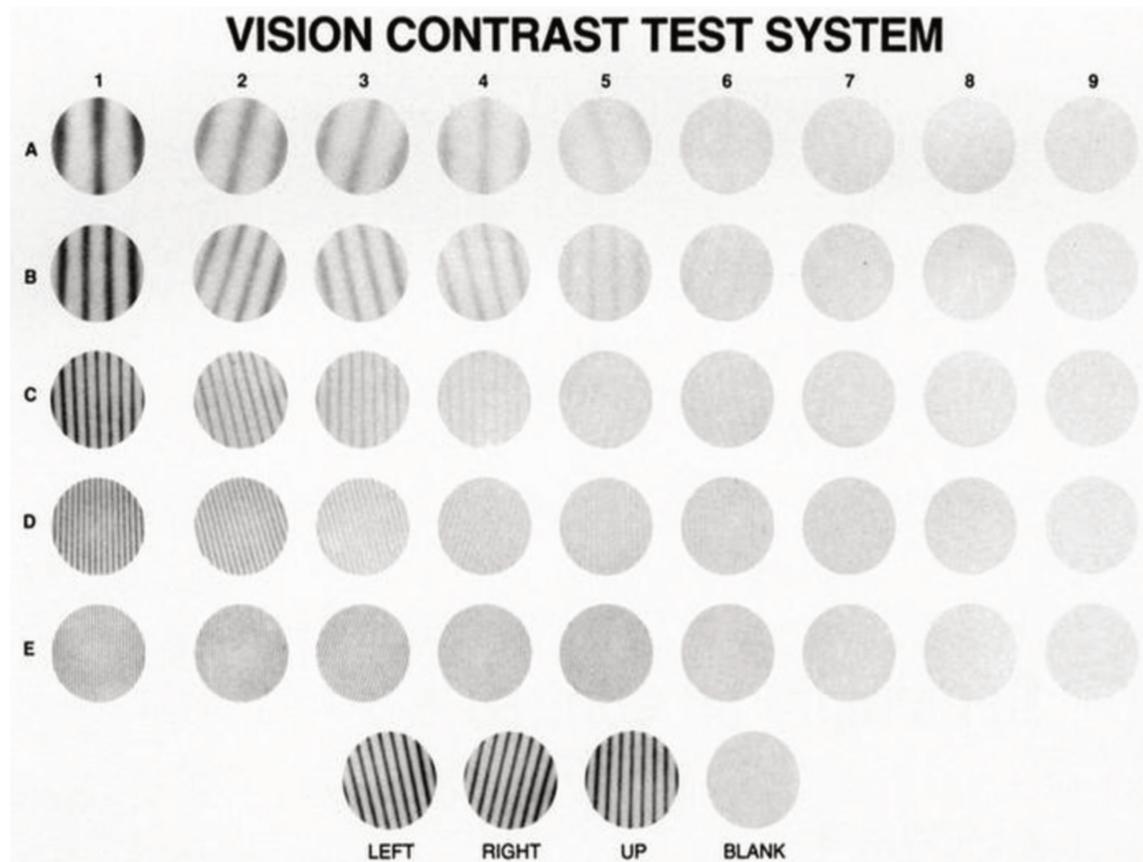
seuil. Cette méthode est précise mais beaucoup trop longue pour une application clinique.

- Méthode des limites qui peut être déterminée de deux manières :
  - Méthode des seuils descendants : on choisit de présenter un réseau de taille donnée avec un fort contraste et de diminuer peu à peu ce contraste jusqu'au seuil de perception.
  - Méthode des seuils ascendants : on choisit de présenter un réseau imperceptible et d'en augmenter le contraste.
- Méthode des choix forcés : elle consiste à délimiter grossièrement le seuil de contraste, puis à présenter des stimuli autour du seuil sujet de manière aléatoire. Cette méthode peut s'effectuer de trois façons :
  - Succession aléatoire de plages uniformes ou de réseaux.
  - Présentation de réseaux successifs dont le patient doit donner à chaque fois l'orientation.
  - Méthode du double choix forcé : elle consiste à présenter successivement deux plages, l'une contenant le réseau, l'autre étant uniforme et de même luminance moyenne. Le sujet doit préciser si le réseau est dans la première ou la seconde période. Il s'agit de la méthode la plus précise mais la plus longue (42).

### 3. Appareils de mesure

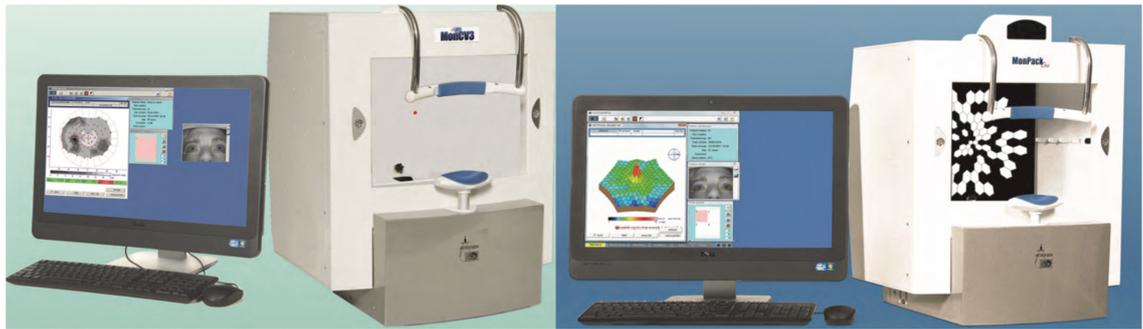
Il existe différentes façons d'évaluer la FSC au moyen de différents appareils.

Des planches, sur lesquelles sont imprimés des réseaux, peuvent être présentées aux patients. Des réseaux de même taille et donc de fréquence spatiale similaire sont présentés sur une même ligne avec des contrastes de plus en plus faibles. Et sur une même colonne sont présentés des réseaux de même contraste mais de taille de plus en plus fine, donc de fréquence spatiale de plus en plus haute (figure 13). Ces planches sont peu coûteuses, facilement réalisables mais très imprécises.



**Figure 13** : planche de sensibilité aux contrastes

Les appareils les plus fréquemment utilisés pour l'étude de la FSC se présentent sous la forme d'un écran vidéo et d'un processeur graphique. Ils sont plus coûteux mais permettent une analyse plus fine des seuils de contraste. Les tests sont réalisés par la présentation de réseaux sinusoïdaux dont les paramètres (luminance, contraste, fréquence spatiale) sont contrôlés par l'ordinateur. Chaque réseau est d'abord présenté avec un bas contraste, qui est ensuite progressivement augmenté. Le patient appuie sur un bouton lorsqu'il détecte les barres du réseau. Les tests sont habituellement réalisés dans des conditions de vision photopique (Figure 14 et 15).



**Figure 14** : exemples d'appareils sur lesquels peuvent être étudiés la FSC. **A gauche** : appareil MonCV3 (Metrovision). **A droite** : appareil MonPackONE (Metrovision)



**Figure 15** : présentation du réseau sur appareil MonCV3 (Metrovision)

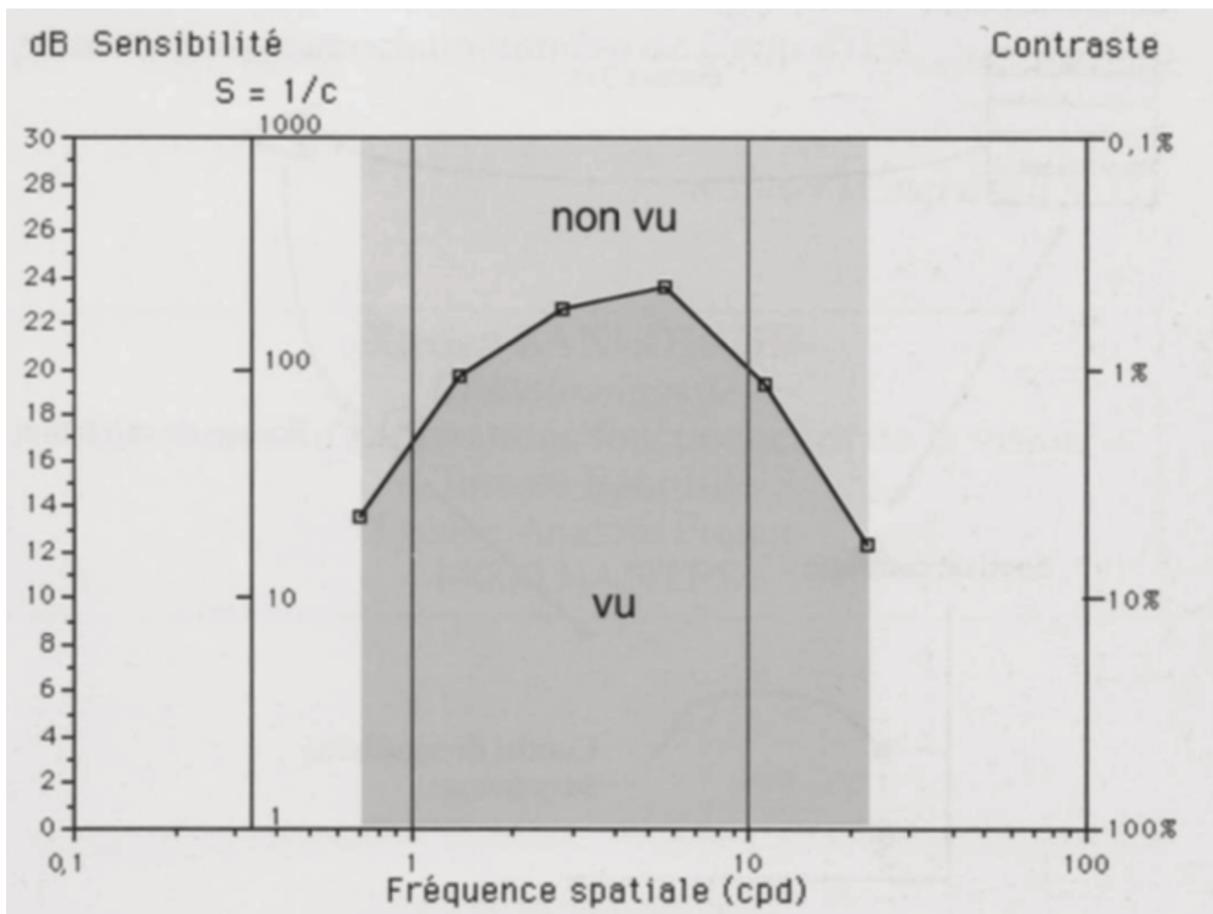
Enfin, il faut noter l'existence de planches présentant des lettres ayant différents niveaux de gris (figure 16). On demande au patient de simplement lire les lettres. L'évaluation de la FCS en vue de près peut donc être déterminée. Ces optotypes sont facilement utilisables et les résultats peuvent se rapprocher de ceux obtenus avec les réseaux classiques, avec une analyse moins fine.



**Figure 16 :** échelle de vision des contrastes Pelly-Robson

#### 4. Résultats de l'étude de la sensibilité spatiale aux contrastes chez le sujet sain

L'étude de la sensibilité spatiale aux contrastes chez le sujet sain, permet d'obtenir une courbe en U inversée et s'appelant Visuogramme (introduit par Bodis-Wollner) (figure 17 et 18)

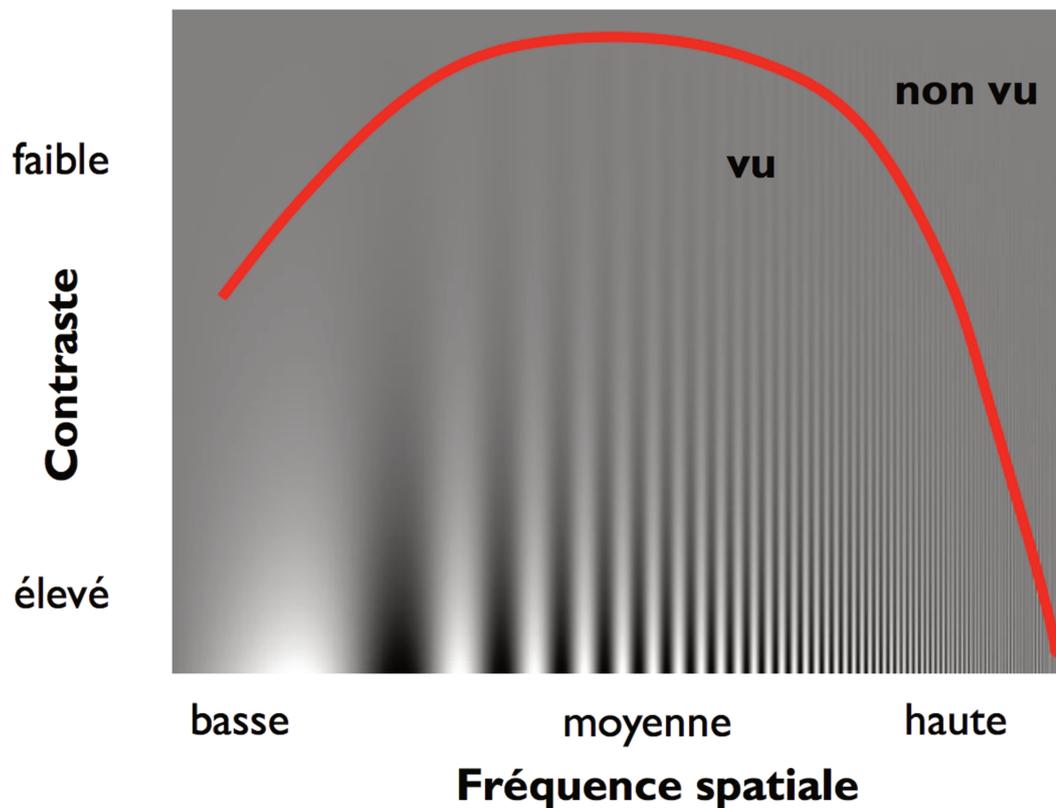


**Figure 17 :** en abscisse : la fréquence spatiale en cpd ; en ordonnée à gauche : la sensibilité aux contrastes en dB ; en ordonnée à droite : le contraste en pourcentage

Plusieurs zones sont visibles sur le visuogramme (figure 2) :

- Pic de sensibilité est autour de 5 cpd mais variable selon les études et les dispositifs expérimentaux utilisés. C'est donc à cette fréquence que le système visuel humain est le plus sensible à de faibles contrastes.
- Zone dans laquelle, la sensibilité pour les hautes fréquences spatiales diminue. Elle correspond à la limite physiologique pour résoudre deux points et elle est en rapport avec le nombre de cellules photoréceptrices.
- La dernière zone visible est la zone de diminution de la sensibilité pour les basses fréquences. Cette zone correspond au fonctionnement des cellules ganglionnaires qui possèdent un centre exciteur ou inhibiteur et une périphérie de fonction inverse. Dans le cadre des fréquences spatiales basses, le stimulus atteint de façon de plus en plus égale les régions

excitatrices et inhibitrices, et il en résulte une inhibition latérale qui explique la baisse de sensibilité aux fréquences spatiales basses (43).



**Figure 18 :** représentation schématique de de la courbe obtenue du contraste en fonction de la fréquence spatiale

## 5. Facteurs influençant la variation de la courbe

### a) Environnement et conditions du test

En cas de diminution de la luminance, la courbe de sensibilité aux contrastes va subir une translation vers la gauche (vers les basses fréquences spatiales). Le pic de sensibilité va donc lui aussi se décaler vers les basses fréquences.

Les résultats sont également influencés par la luminosité de la pièce.

Les résultats varient également si le test est réalisé en vision binoculaire. La vision monoculaire apporte les données les plus précises. La FSC en vision binoculaire est différente : on retrouve un décalage de la courbe vers les contrastes les plus faibles (44).

### **b) Excentricité**

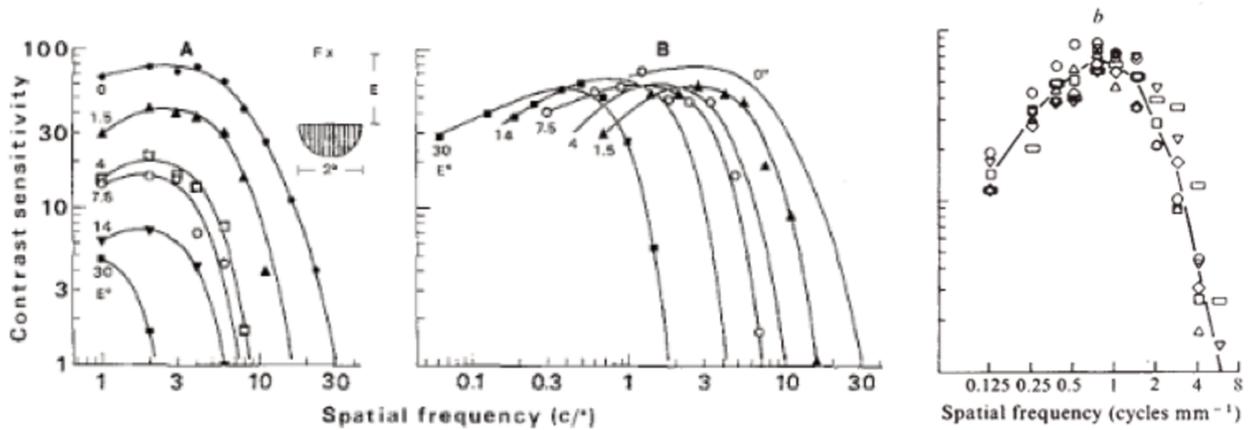
En fonction de l'excentricité du test, les performances du test vont diminuer si on ne modifie pas la taille du pattern.

En effet, les courbes de sensibilité aux contrastes se décalent vers le bas et vers la gauche. Cela indique une baisse des performances mais une meilleure sensibilité aux basses fréquences en périphérie (figure 19 A).

Cependant, en se référant aux travaux sur l'amplification corticale (45), il a été montré que la taille du pattern pouvait être ajustée en fonction de l'excentricité afin d'obtenir les mêmes performances visuelles (46). Il a donc été proposé un facteur d'agrandissement en fonction de la représentation corticale pour les différentes excentricités afin d'obtenir des performances visuelles similaires à toutes les excentricités.

En agrandissant la taille des stimuli en périphérie, on observe une translation verticale vers le haut de la courbe (augmentation de la sensibilité aux contrastes) mais sans modification sur l'axe des fréquences spatiales (figure 19 B).

Enfin en représentant les fréquences spatiales en fonction de leur représentation corticale pour les différentes excentricités, les courbes se superposent (figure 19 C) (46).



**Figure 19 :** **A.** à droite : diminution des performances en fonction de l'excentricité ; **B.** au centre : après agrandissement des stimuli ; **C.** à gauche : représentation des fréquences spatiales des stimuli en fonction de leur représentation corticale pour les différentes excentricités (46).

Les hautes fréquences spatiales sont plutôt traitées dans la partie centrale du CV alors que les basses fréquences spatiales sont traitées en périphérie (47). Toutes les régions sont capables de traiter toutes les fréquences mais la sensibilité aux hautes fréquences baisse plus rapidement que la sensibilité aux basses fréquences en fonction de l'excentricité (48,49).

### c) Age

L'âge modifie également la courbe de sensibilité spatiale aux contrastes.

Des tentatives de mesure de la sensibilité aux contrastes ont été faites chez des nourrissons de 10 à 38 semaines en enregistrant le déplacement réflexe des yeux lors de la présentation de réseaux en mouvement. Les résultats montrent que les très jeunes enfants ont une mauvaise perception des basses fréquences spatiales.

La sensibilité aux contrastes se développe progressivement entre 1 et 6 mois (50,51), et, dès 3 ans, les méthodes psychophysiques usuelles peuvent être utilisées.

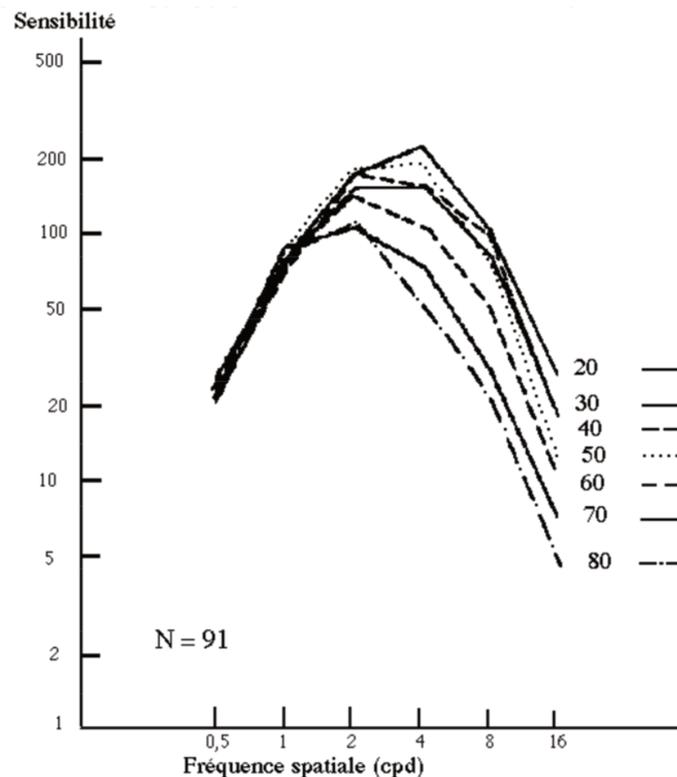
Ce n'est que vers 3 mois, que la FSC atteindrait un profil adulte avec son aspect en U inversé, avec un décalage vers les basses fréquences spatiales (en

corrélation avec l'acuité visuelle basse à cet âge), et un décalage vers le bas de la sensibilité aux contrastes qui demeure plus faible jusqu'au début de l'adolescence (50,52).

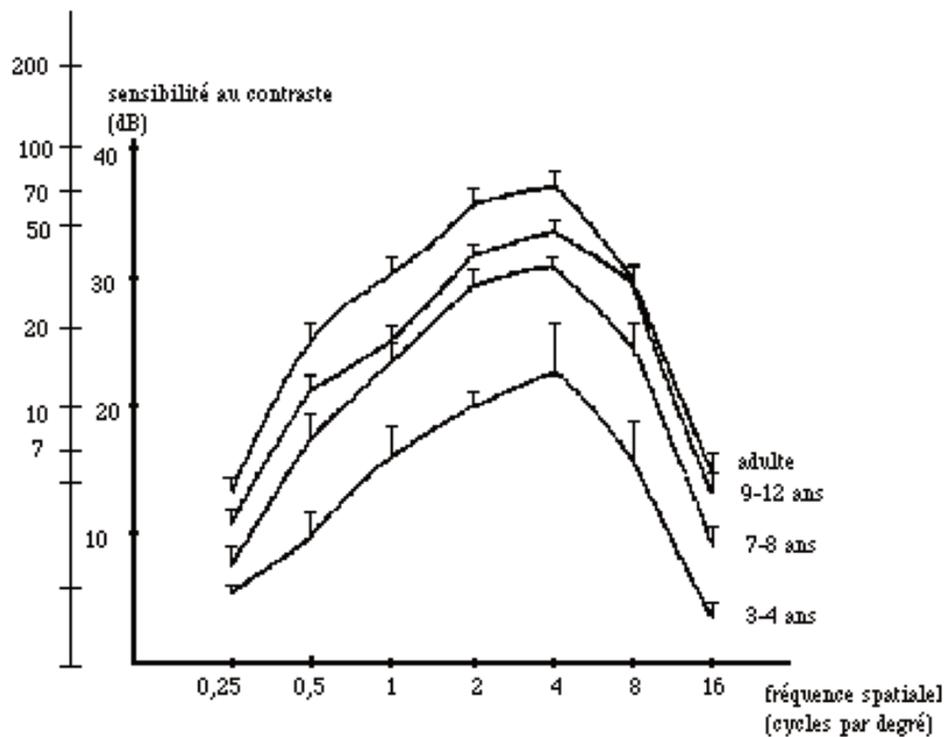
A 3 ans, la sensibilité aux contrastes est inférieure à celle de l'adulte pour toutes les fréquences spatiales. Elle commence à devenir identique à celle de l'adulte vers 8 ans.

Les études réalisées retrouvent donc une altération sur les basses fréquences spatiales chez les sujets très jeunes (53) (figure 20) ou très âgés de plus 70 ans, ainsi qu'une altération sur les hautes fréquences chez le sujet âgé uniquement (54–56) (figure 21).

Chez les personnes âgées, la sensibilité aux contrastes se modifie progressivement. Il existe une baisse de sensibilité pour les hautes fréquences spatiales, due à la fois à un phénomène neuronal et à une diminution de l'illumination de la rétine par myosis sénile.



**Figure 20 :** FSC spatiale pour quatre groupes d'âges (modifiée d'après BEAZLEY 1980) (53)



**Figure 21** : Résultats de la FSC spatiale chez 91 sujets normaux en fonction de l'âge (modifiée d'après OWSLEY 1983) (56)

#### d) Taille des pupilles

La taille des pupilles joue également un rôle dans la sensibilité spatiale aux contrastes (57).

#### e) Optique

La FCS est modifiée par le port de lentilles (58). Une mesure de la sensibilité aux contrastes chez ces sujets porteurs de lentilles met en évidence un déficit qui s'explique par la présence de dépôts sur les lentilles et de modifications de la cornée.

### **f) Chirurgies intra-oculaires**

Les patients opérés par chirurgie réfractive peuvent présenter une modification de la FSC, variable en fonction de la technique utilisée. Une étude post-opératoire de la FSC permet une quantification de la correction obtenue et des phénomènes d'éblouissement.

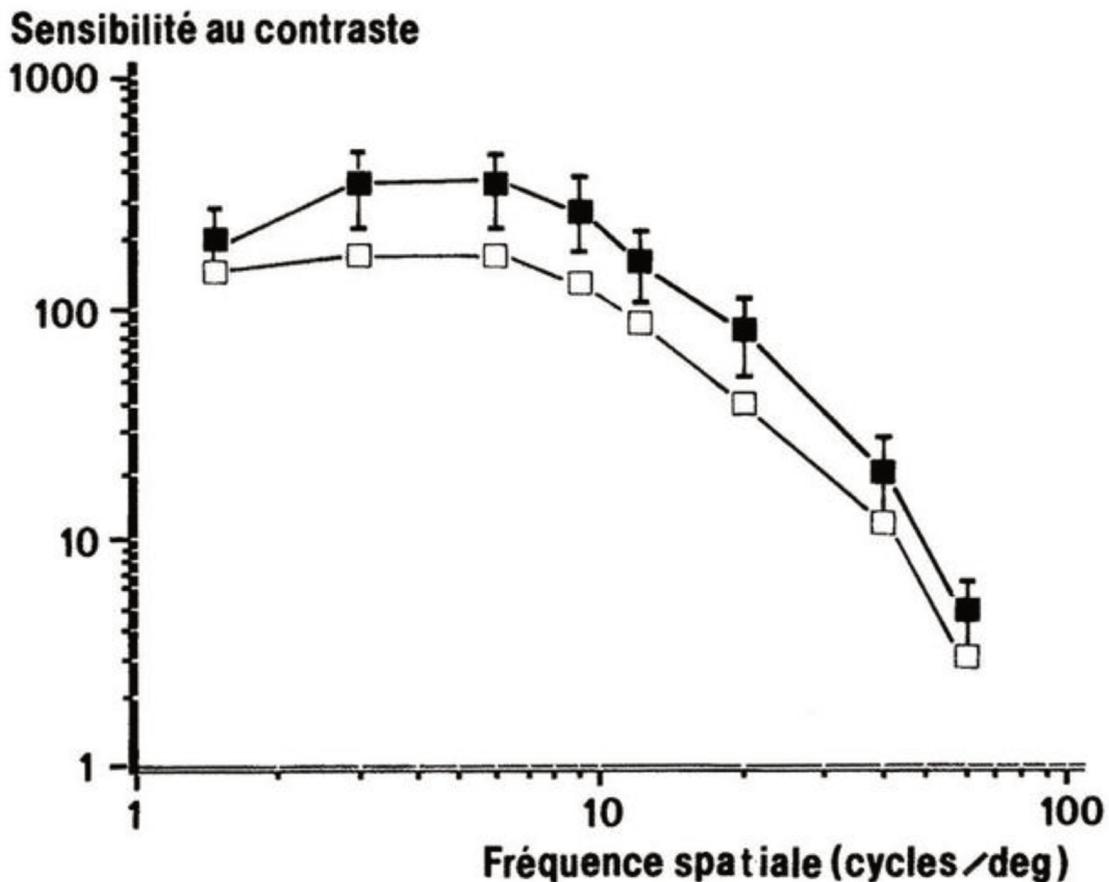
Des diminutions de la sensibilité aux contrastes ont été constatées suite à la mise en place de certains implants multifocaux après chirurgie de la cataracte.

### **g) Pathologies oculaires**

De plus, de nombreuses études ont décrit des modifications de la vision des contrastes en rapport avec des pathologies rétiniennes et de surface. (55)

Dans le glaucome, un scotome apparaît sur un CV de Goldmann, lorsque 40 % des fibres optiques dans la région concernée sont atteintes. La sensibilité aux contrastes a été explorée dans la région centrale (59), afin de rechercher une perturbation de la sensibilité aux contrastes, avant l'apparition de ces signes trop tardifs. Des études ont montré que la somme des scores calculés à partir des grilles sinusoïdales, était corrélée aux altérations du champ visuel, soit de façon préférentielle sur les hautes fréquences (60), soit sans fréquence préférentiellement touchée (61). Cependant, une autre étude de Sokol et al. n'a pas confirmé ces résultats (62).

On estime que 30 % des patients atteints d'une hypertension isolée, sans trouble du CV automatique, présentent une perturbation de la sensibilité aux contrastes (figure 22).



**Figure 22 :** Courbe de sensibilité aux contrastes chez un sujet présentant une hypertension isolée à 25 mmHg (carrés blancs). Par rapport aux sujets normaux (carrés noirs), il existe un déficit significatif de sensibilité prédominant dans les fréquences spatiales moyennes. Ce déficit signe une atteinte de la vision centrale due au glaucome (d'après Nordmann (41))

Dans la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA), l'œil considéré comme le meilleur par le patient n'est pas celui qui a la meilleure acuité visuelle mais celui qui a la meilleure sensibilité aux contrastes (63). L'étude de la FSC permet une détection précoce des signes de la DMLA.

Dans la rétinopathie diabétique, des perturbations de la sensibilité portant sur toutes les fréquences spatiales surviennent chez des patients dont l'acuité visuelle reste. Une étude retrouve un déficit de la sensibilité aux contrastes chez environ 15% des patients ayant un diabète sans anomalie rétinienne, et chez 60% des patients en cas de rétinopathie (64).

En présence de rétinopathie, les anomalies fovéolaires entraînent typiquement un déficit dans les hautes fréquences spatiales. Une pathologie qui atteint toute la macula provoque une diminution de l'ensemble de la courbe de sensibilité aux contrastes (65).

Dans les neuropathies optiques, les patients présentent une altération de la sensibilité aux contrastes aux basses et aux moyennes fréquences spatiales, sans déficit de l'acuité visuelle. Il a même été constaté certains cas de neuropathie optique rétro-bulbaire asymptomatique, avec PEV normaux, mais avec perturbation de la FSC (66). De plus, il a été retrouvé une altération de la FSC non seulement pour l'œil atteint mais aussi sur l'œil sain (67).

Dans les amblyopies liées à une anisométrie, la sensibilité aux contrastes est perturbée, elle peut osciller entre une atteinte des hautes fréquences spatiales et une atteinte de toutes les fréquences, en fonction de la correction de l'amblyopie (68).

Dans les hypertensions intracrâniennes, l'atteinte de sensibilité aux contrastes est corrélée à l'importance de l'œdème papillaire. De plus, la présence d'un œdème cérébral peut, elle aussi, entraîner un trouble de sensibilité aux contrastes(69).

Une diminution de sensibilité aux contrastes a également été démontrée dans la maladie d'Alzheimer (70).

Dans la maladie de Parkinson, il existe un déficit spécifique de la sensibilité aux contrastes. Des études menées ont permis de déterminer le rôle de la dopamine dans cette atteinte (71).

#### **IV. Intérêt de la détermination des seuils de sensibilité spatiale aux contrastes en fonction de l'excentricité chez le sujet sain**

Le GPAO est une pathologie qui peut être explorée par divers examens complémentaires et on peut donc l'appréhender par le biais d'autres moyens d'examen de la fonction visuelle, et notamment par des tests psychovisuels. Il est ainsi prouvé que de tels tests permettent de détecter précocement des glaucomes débutants (72).

Lors de la réalisation d'un CV de type blanc-blanc, on évalue la réponse du patient à un stimulus lumineux d'intensité croissante, afin d'évaluer la sensibilité différentielle à la lumière. Ces paramètres sont régis par la même formule mathématique que pour la sensibilité aux contrastes : la formule de Michelson. De plus, ce CV fait appel aux mêmes voies visuelles. Une corrélation peut donc être établie entre les CV de type blanc-blanc et la FSC. La périmétrie blanc-blanc fait donc varier la luminance d'un stimulus, mais il est également possible, avec un stimulus de type sinusoïdale, de faire varier le contraste et les fréquences spatiales.

Comme nous l'avons vu précédemment, de nombreuses pathologies oculaires font l'objet d'une altération de la FSC. En ce qui concerne le glaucome, de nombreuses études ont mis en corrélation un déficit du CV blanc-blanc avec une atteinte de la sensibilité aux contrastes (11,73,73–75). Cependant, tous ces travaux étudiaient la sensibilité aux contrastes en fovéal, jamais en périphérie. L'ensemble de ces études concluait que plus le déficit glaucomateux était important, plus les contrastes devaient être élevés pour pouvoir être détectés par les patients.

La sensibilité temporelle aux contrastes, que l'on mesure grâce à la technique du doublage de fréquence, est diminuée avec l'augmentation du déficit glaucomateux. Mais nous l'avons vu précédemment, lors des tests de la sensibilité temporelle, on n'évalue pas les mêmes voies visuelles que pour la sensibilité spatiale

aux contrastes, et la topographie des atteintes est différente de celle des champs visuels blanc-blanc.

C'est pourquoi, il nous semble intéressant d'étudier la sensibilité spatiale aux contrastes, en fonction de l'excentricité. L'étude porte sur des sujets sains afin de pouvoir établir des normes.

L'objectif principal de l'étude est donc d'évaluer le seuil de sensibilité aux contrastes en fonction de la fréquence spatiale et à différentes excentricités chez des sujets sains de 20 à 30 ans et de 50 à 70 ans.

L'objectif secondaire est de comparer les courbes de sensibilité aux contrastes obtenues pour chaque excentricité dans les 2 groupes étudiés.

Le critère de jugement principal était le seuil de contraste nécessaire pour percevoir un stimulus à une fréquence spatiale donnée et à différentes excentricités.

Il s'agit d'une étude prospective, monocentrique, réalisée dans le service d'ophtalmologie du Pr Rouland au Centre Hospitalier Régional Universitaire de Lille.



## MATERIELS ET METHODES

### I. Population

La population étudiée était divisée en deux tranches d'âge : 20 à 30 ans ou 50 à 70 ans. L'étude se déroulait en trois phases. Les deux premières étaient des phases préliminaires d'ajustement des seuils de sensibilité.

La population était recrutée dans le service d'Ophtalmologie du Pr Rouland, au Centre Hospitalier Régional Universitaire de Lille, parmi le personnel du service et les accompagnants des patients.

Les critères d'inclusion étaient les suivants :

- Homme ou femme, parlant français, âgé(e) de 20 à 30 ans ou de 50 à 70 ans.
- Compréhension du consentement éclairé.
- Personnes aptes et volontaires pour participer à l'étude.
- Acuité visuelle >10/10 avec correction portée sur chaque œil.
- Examen ophtalmologique normal. En cas de phakosclérose à l'examen, la valeur de confiance du ticket de l'autoréfractomètre devait être de 9.

Les critères de non inclusion étaient les suivants :

- Antécédents personnels de pathologie ophtalmologique (autres que les amétropies).
- Antécédents de pathologies psychiatriques ou neurologiques.

- Difficultés à communiquer (surdité/mutité).
- Traitement médicamenteux pouvant altérer la concentration.
- Alcoolisme ou toxicomanie reconnu(e).
- Personnes sous tutelle, personnes privées de liberté.

Lors de l'inclusion dans l'étude, les sujets recevaient une information complète, orale et écrite, précisant le déroulement de l'essai. Une fiche d'information était remise directement au sujet. Un consentement éclairé signé était recueilli avant l'entrée du sujet dans l'étude.

## **II. Matériels**

### **A. Caractéristiques du dispositif**

Nous avons utilisé un logiciel informatique permettant la présentation sur 4 écrans LCD, de stimulus sinusoïdaux de formes arrondies. La surface des 4 écrans était plane, avec un fond de luminance constante. Le dispositif comportait également un clavier, des haut-parleurs et un eyetracker SMI Red 120 HZ (figures 23 et 24).

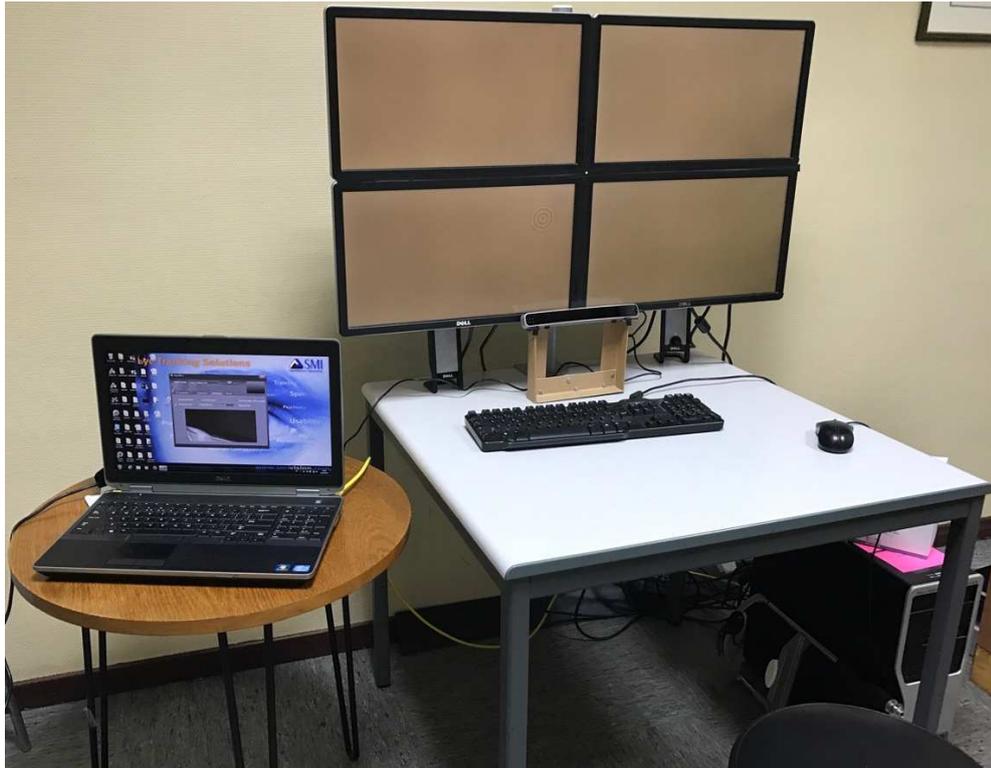
La luminance de fond était de 31,5 asb.

Le contraste pouvait varier de 0 à 100%.

Nous avons utilisé 6 FS différentes : 0,4 ; 0,8 ; 2 ; 4 ; 6 et 8 cpd.

La présentation des stimuli se fait de manière pseudo-aléatoire.

Le test se déroulait toujours dans le même environnement scotopique, dans une pièce calme.



**Figure 23 :** dispositif expérimental : 4 écrans, un clavier, un eyetracker (SMI RedM, 120 Hz) avec surveillance de la bonne fixation sur un ordinateur portable



**Figure 24 :** dispositif utilisé avec présentation d'un stimulus circulaire à 8° d'excentricité dans le quadrant inféro-nasal de l'œil gauche ou inféro-temporal de l'œil droit.

## B. Caractéristiques du stimulus

Il s'agit d'un réseau sinusoïdal, dont le contraste et la FS varient au cours de l'examen.

Dans les 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> phases de l'étude, nous avons utilisé un temps de stimulation de 200ms comme dans un CV de type Humphrey (22).

Nous avons utilisé un stimulus de forme ronde de 4° d'angle visuel.

Le point de fixation était situé à 60 centimètres de l'œil étudié du sujet.

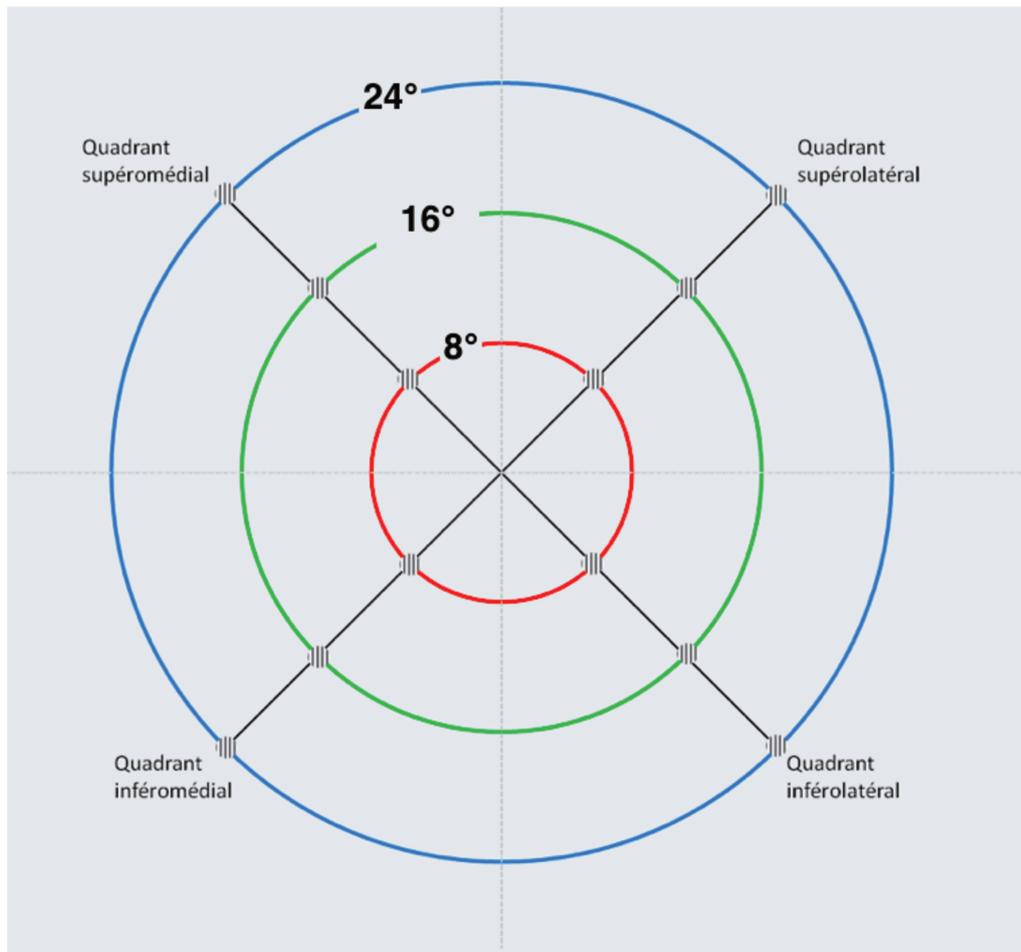
Une brève stimulation auditive était effectuée 500 millisecondes (ms) avant chaque stimulus (54,56,76).

Le stimulus était ensuite présenté pendant 200 ms.

Le participant disposait de 1000ms pour répondre.

Le délai entre deux stimuli était donc de 1700ms.

Afin d'étudier la sensibilité aux contrastes en fonction de l'excentricité, nous avons étudié la réponse au stimulus sinusoïdal sur trois excentricités différentes : 8°, 16° et 24°. Et nous avons étudié une valeur par quadrant sur chacune de ces trois excentricités. Cela représentait donc 12 stimulations au total (figure 25). De plus, nous avons étudié la réponse aux stimuli centraux ou fovéolaires.



**Figure 25 :** topographie des stimuli en fonction de l'excentricité dans les quadrants (en rouge : 8° d'excentricité ; en vert : 16° d'excentricité ; en bleu : 24° d'excentricité)

### III. Protocole

#### A. Installation du sujet

Après recueil du consentement, nous expliquions au sujet le déroulement du test : l'enchaînement bruit puis le stimulus. Il était demandé au sujet d'appuyer sur la barre espace du clavier lorsque le stimulus était perçu.

L'évaluation se faisait de manière monoculaire, l'œil non étudié était caché à l'aide d'une compresse oculaire.

La correction portée était celle permettant une acuité visuelle de 10/10<sup>e</sup> de loin avec une addition, pour le groupe des 50-70 ans, permettant une acuité visuelle de près à parinaud 2 à 60 cm (équivalent à la distance œil-écran). Comme pour un champ visuel Humphrey ou Octopus, nous choissions une addition majorée mais permettant toujours de distinguer convenablement « parinaud 2 », afin de limiter l'accommodation (22). Nous avons utilisé l'équivalent sphérique afin de corriger un éventuel astigmatisme.

La monture utilisée permettait d'avoir un champ visuel d'angle suffisamment grand pour pouvoir détecter des stimuli au-delà de 24° d'excentricité (figure 26).



**Figure 26 :** monture et verres utilisés

Les pupilles du participant devaient être non dilatées, sans contrôle de la taille de la pupille avant l'examen (54,76).

La distance œil-écran était de 60 centimètres (76), le sujet étant assis sur un tabouret, avec l'œil au niveau du point de fixation.

On demandait au sujet de fixer un point central. La fixation du sujet était contrôlée en permanence par un « eyetracker » fixe. Si le regard du sujet se détournait de plus de 6° du point de fixation, le test se mettait en pause.

## **B. 1<sup>ère</sup> phase de l'étude : choix manuel statique chez le sujet sain**

Tous les points étaient testés : 3 excentricités à 8°, 16° et 24° sur chaque quadrant, et un point central fovéolaire soit 13 points au total.

Toutes les fréquences spatiales étaient étudiées de manière aléatoire : 0,4 ; 0,8 ; 2 ; 4 ; 6 et 8 cpd.

Cette phase comportait 2 étapes :

- Recherche du seuil fovéolaire central pour chacune des 6 fréquences spatiales.
- Recherche des seuils en fonction de l'excentricité, dans chaque quadrant et pour chaque fréquence spatiale.

Le sujet devait fixer un point central. Un stimulus apparaissait de manière aléatoire dans l'un des quadrants avec une fréquence spatiale aléatoire.

Si le sujet percevait le stimulus, en gardant la fixation centrale, il devait appuyer sur la touche « - » du clavier. Un stimulus apparaissait alors à la même position du champ visuel et avec la même FS, mais avec un contraste diminué. A chaque fois que le sujet appuyait sur la touche « - », le contraste diminuait d'un pas. Le sujet devait donc faire diminuer le contraste en appuyant sur « - » jusqu'à ce qu'il ne perçoive plus le stimulus. Puis, il devait appuyer sur « + » jusqu'à ce qu'il perçoive de nouveau le stimulus, puis appuyer sur la touche « entrée » pour valider. Un autre point était ensuite testé, à une autre position avec une fréquence spatiale aléatoire.

Si le sujet ne percevait pas le stimulus, en gardant la fixation centrale, il devait appuyer sur la touche « + » du clavier, jusqu'à ce qu'il le perçoive puis appuyer sur la touche « entrée » pour valider. Puis un autre point était testé, à une autre position avec une fréquence spatiale aléatoire.

Cette première phase permettait d'obtenir un seuil de sensibilité central et périphérique en fonction de la fréquence spatiale chez des sujets sains. Ces seuils devaient servir pour déterminer la stimulation de départ pour la phase 2 de l'étude.

### **C. 2<sup>ème</sup> phase de l'étude : test séquentiel adaptatif fonctionnel (FAST) chez le sujet sain (77)**

Les méthodes de tests adaptatifs unidimensionnels rendent l'estimation des valeurs de seuil unique plus rapide et plus efficace, mais on peut encore gagner en efficacité en tenant compte de la relation entre les seuils à différentes valeurs d'une variable indépendante. Nous avons donc utilisé ici, le test séquentiel adaptatif fonctionnel (FAST pour Functional Adaptive Sequential Testing) pour estimer les seuils en fonction d'une autre variable. Cette méthode permet d'estimer efficacement les paramètres relatifs à une variable indépendante (la fréquence spatiale) au seuil mesuré le long d'une dimension de force de stimulation (le contraste). Le FAST est une méthode dynamique basée sur un algorithme qui permet de faire varier le niveau de contraste afin de converger rapidement vers un seuil de sensibilité. Cet algorithme est disponible avec la Matlab toolbox sur le lien suivant : <http://code.google.com/p/fast-toolbox/> (77).

Lors de cette phase, seuls 3 points à 3 excentricités différentes étaient testés en plus du point central : un point à 8°, un point à 16° et un point à 24°. En effet, ce test étant relativement long pour chaque stimulus testé, nous avons préféré réaliser le test dans un seul quadrant afin d'obtenir une durée de test acceptable et donc une meilleure concentration du sujet testé.

Toutes les fréquences spatiales étaient étudiées : 0,4 ; 0,8 ; 2 ; 4 ; 6 et 8 cpd.

Lors de cette phase, un eyetracker était utilisé.

Cette 2<sup>ème</sup> phase permettait d'obtenir un seuil de contraste pour chaque excentricité et des pas à utiliser dans la 3<sup>ème</sup> phase.

### **D. 3<sup>ème</sup> phase : méthode des limites chez le sujet sain**

La 3<sup>ème</sup> phase de l'étude permettait de déterminer un seuil de contraste chez le sujet sain en fonction de l'excentricité et de la fréquence spatiale, afin d'établir des normes.

Dans un premier temps, le seuil fovéolaire était déterminé pour chacune des fréquences spatiales.

Puis dans un second temps, toutes les excentricités (8°, 16° et 24°) des 4 quadrants, ainsi que toutes les FS étaient testées (0,4 ; 0,8 ; 2 ; 4 ; 6 et 8 cpd).

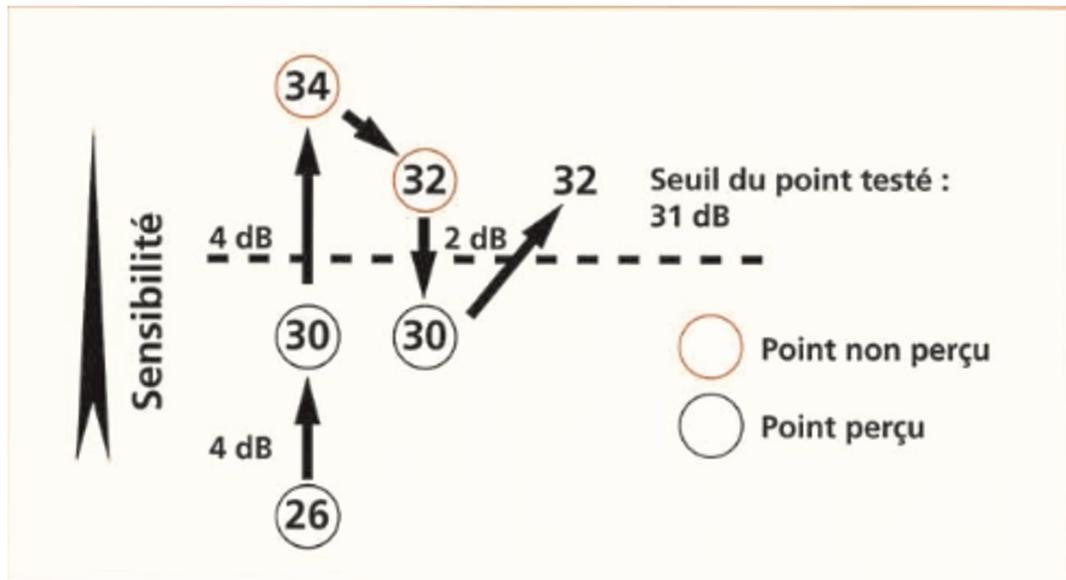
On testait donc 6 FS pour chacun des 13 points, soit 78 types de stimulations.

La détermination des seuils s'effectuait par la méthode des limites.

La valeur liminaire de sensibilité aux contrastes de départ ainsi que le pas étaient déterminés à la fin de la 2<sup>ème</sup> phase et étaient différents en fonction de l'excentricité et de la FS. Et nous avons décidé d'utiliser une valeur infraliminaire pour débiter le test. Cette valeur infraliminaire équivalait à la valeur seuil obtenue à la phase 2 moins 2 fois le pas obtenu en phase 2 :

$$\text{Valeur infraliminaire de départ} = \text{seuil} - (2 \times \text{pas})$$

A partir de cette valeur infraliminaire de départ, nous augmentions le contraste d'une valeur « a » (déterminée à la fin de la 2<sup>ème</sup> étape), jusqu'à ce que le réseau soit vu ; puis, nous le diminuions d'une valeur « b » plus petite (également déterminée à la fin de la 2<sup>ème</sup> étape) jusqu'à ce qu'il ne soit plus vu. Puis nous répétions le procédé avec la valeur « b » jusqu'à ce qu'il y ait 3 changements de perception en tout. La détermination de la valeur seuil se faisait en calculant la moyenne de tous les points ayant fait l'objet d'un changement de perception. Cette méthode est celle retrouvée dans les champs visuels de type Humphrey avec l'algorithme d'acquisition des seuils de type 4-2-2 (figure 27).



**Figure 27 :** Algorithme d'acquisition des seuils de type 4-2-2 utilisé dans les CV de type Humphrey (22)

## IV. Données recueillies

Les données recueillies à analyser étaient les suivantes : seuils de contraste perçus en fonction de la fréquence spatiale et de l'excentricité, et l'âge du sujet.

Puis la sensibilité aux contrastes exprimée en dB était calculée à partir de la formule suivant :

$$S = 10 \log (1/C)$$

*S étant la sensibilité exprimée en dB et C le contraste obtenu*

Les résultats étaient représentés sous la forme de courbes de sensibilité aux contrastes (en dB) en fonction de la fréquence spatiale pour chaque point du champ visuel testé.

Nous avons également recueilli la durée du test central et périphérique pour la phase 3, et l'âge des participants pour chacune des 3 phases.



## RESULTATS

### I. Résultats de la phase 1 : choix manuel statique

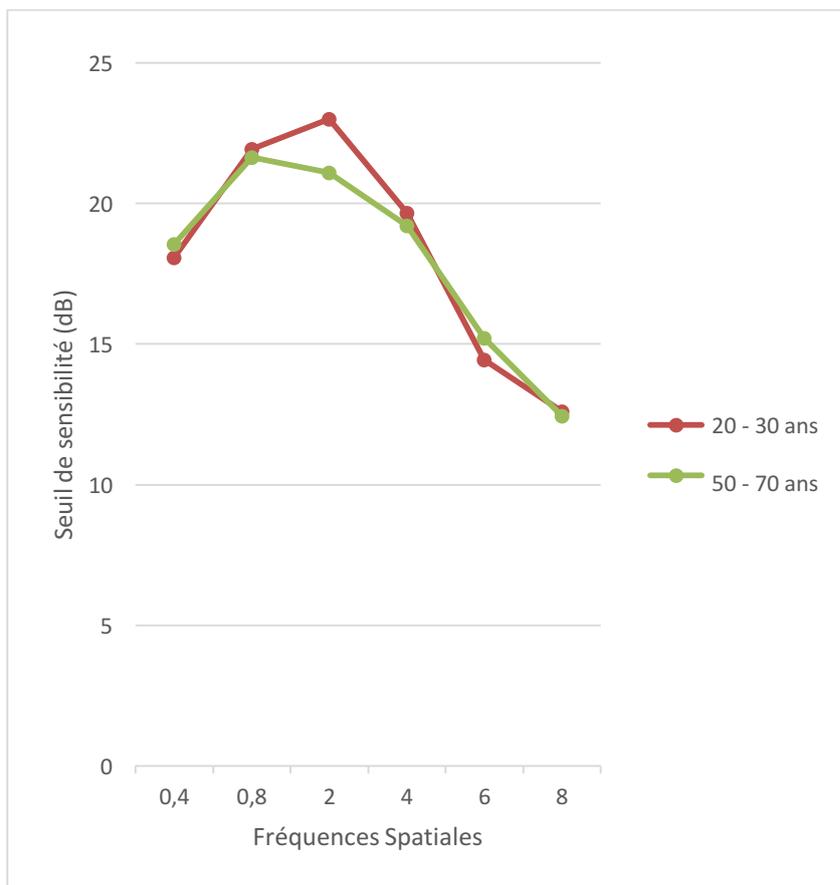
Lors de cette première phase, 6 yeux sains étaient inclus : 4 yeux de 4 sujets pour la tranche d'âge 20-30 ans et 2 yeux de 2 sujets pour la tranche d'âge 50-70 ans. Un participant a été exclu dans le tranche d'âge 50 – 70 ans au cours du test, pour s'être trompé de touche sur le clavier à de nombreuses reprises.

L'âge moyen était de 27,75 ans dans le groupe 20-30 ans et 60,5 ans dans le groupe 50-70 ans.

Tous les sujets avaient une acuité visuelle de 10/10 avec parinaud 2 à 60 cm avec la correction portée pendant le test.

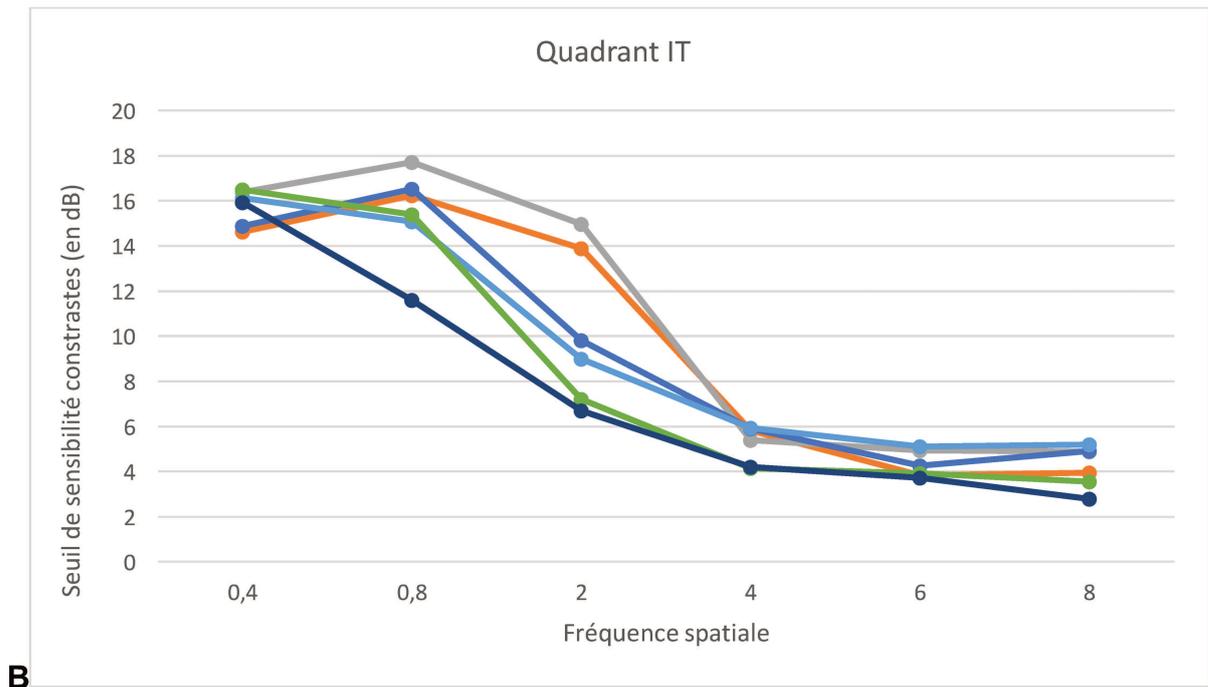
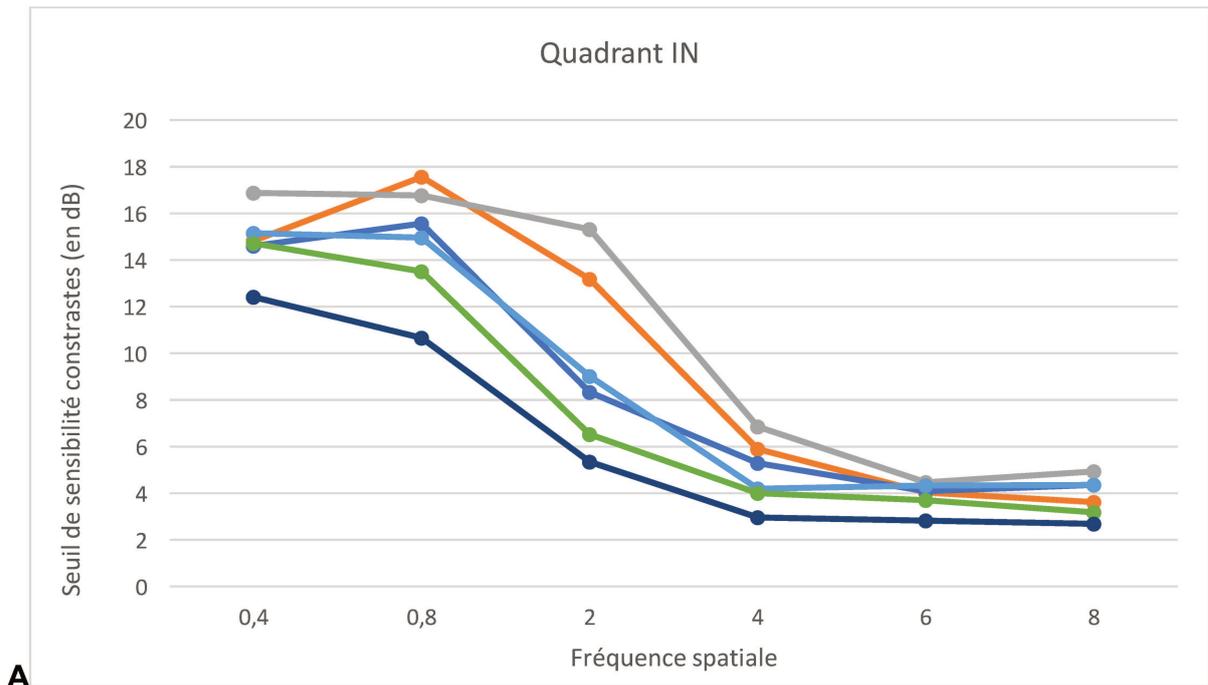
A la fin du test, nous obtenions 78 seuils de contrastes pour chaque participant. Pour chacune des tranches d'âge, nous avons calculé la moyenne du seuil de sensibilité en dB, pour chacune des 6 fréquences spatiales et pour chacun des 13 points testés (3 excentricités sur 4 quadrants et un stimulus central).

La figure suivante représente les résultats obtenus lors du choix manuel statique pour le seuil de la sensibilité fovéolaire aux contrastes en fonction des FS pour les 2 tranches d'âge.

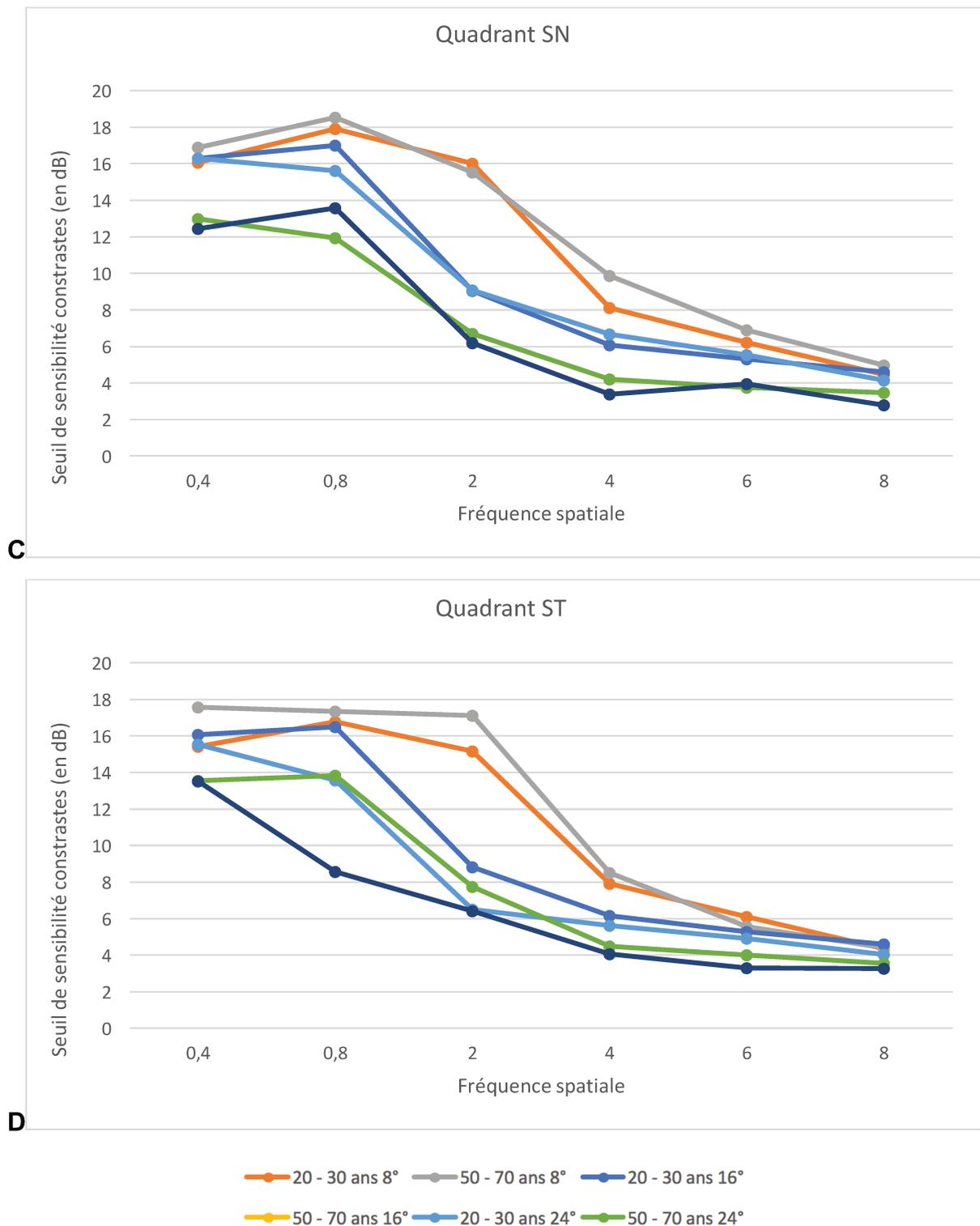


**Figure 28 :** Courbe de sensibilité centrale aux contrastes en fonction de la FS pour les 2 participants de la tranche d'âge 20-30 ans et le participant de la tranche 50-70 ans.

Les figures 29 représentent les résultats obtenus lors du choix manuel statique pour le seuil de la sensibilité aux contrastes en fonction des fréquences spatiales et en fonction de l'excentricité dans chaque quadrant pour les 2 tranches d'âge. Nous avons représenté un graphique pour chaque quadrant.



- 20 - 30 ans 8°
- 50 - 70 ans 8°
- 20 - 30 ans 16°
- 50 - 70 ans 16°
- 20 - 30 ans 24°
- 50 - 70 ans 24°



**Figure 29 :** seuil de sensibilité aux contrastes en fonction de la FS pour chaque excentricité dans chacun des quadrants pour toutes les tranches d'âge. **A.** dans le quadrant inféro-nasal (IN). **B.** dans le quadrant inféro-temporal (IT). **C.** dans le quadrant supéro-nasal (IN). **D.** dans le quadrant supéro-temporal (ST).

Ces résultats nous ont permis d'élaborer la phase 2, afin de commencer le test avec des valeurs de contraste, plus proches du seuil et donc de diminuer sensiblement la durée du test et de garantir une meilleure concentration des sujets.

## **II. Résultats de la phase 2 : test séquentiel adaptatif fonctionnel (FAST)**

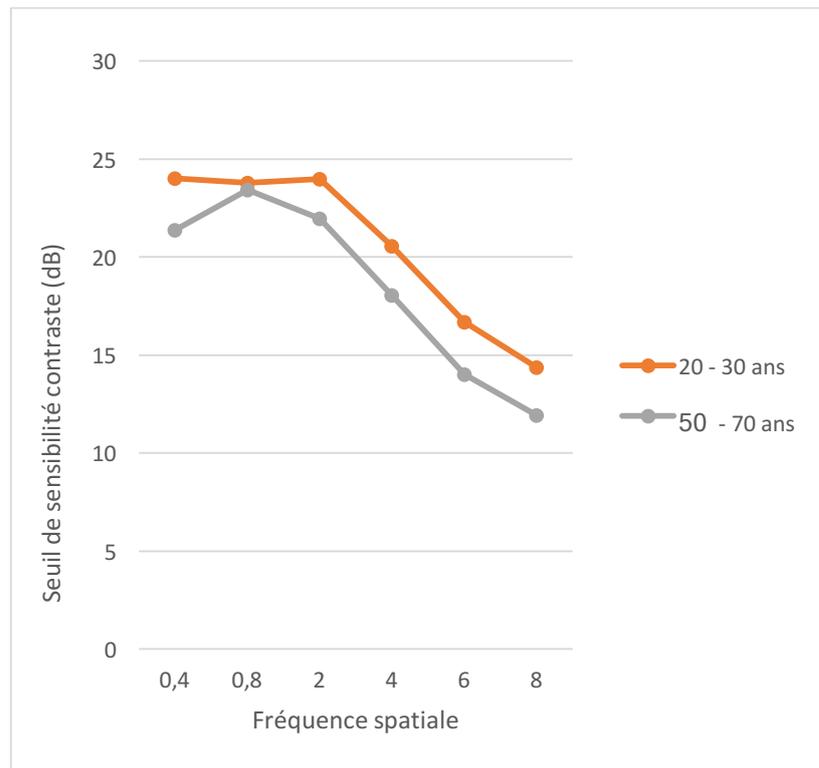
Lors de cette 2<sup>ème</sup> phase, 8 yeux de 8 sujets ont été inclus, 5 dans le groupe « 20-30 ans » et 3 dans le groupe « 50-70 ans ».

L'âge moyen était de 26,2 ans dans le groupe 20-30 ans et 54,67 ans dans le groupe 50-70 ans.

Tous les participants avaient une acuité visuelle de 10/10 avec parinaud 2 à 60 cm avec la correction portée pendant le test.

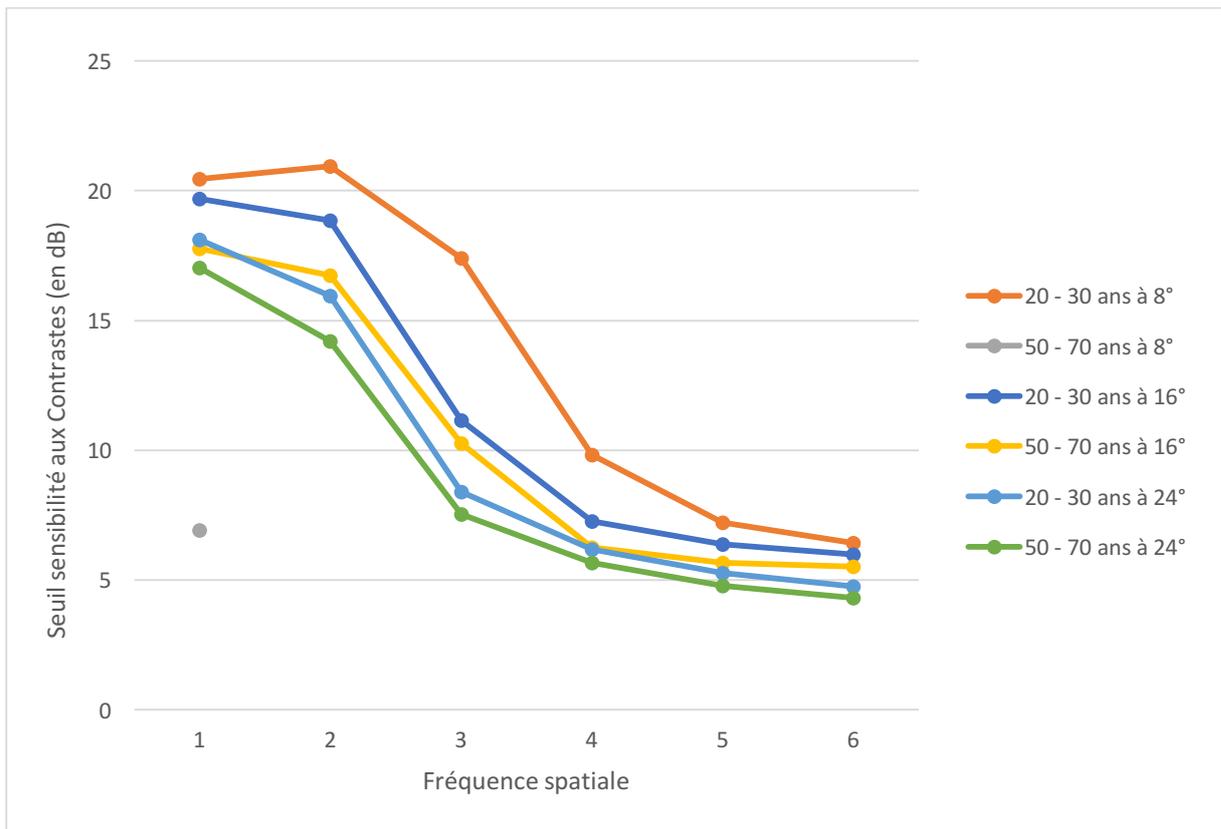
Le test étant réalisé dans un seul quadrant, nous avons obtenu 24 seuils de contrastes pour chaque participants (6 fréquences spatiales pour 4 points testés : central, 8°, 16° et 24°). Comme pour la phase 1 les résultats sont représentés sous forme de graphique représentant le seuil de sensibilité aux contrastes en dB, en fonction de la fréquence spatiale pour chaque point testé.

La figure 30 représente les résultats obtenus au niveau fovéolaire pour les 2 tranches d'âge.



**Figure 30 :** courbe de sensibilité aux contrastes centraux en fonction de la FS pour les tranches d'âge 20-30 ans et 50-70 ans.

La figure 31 représente les résultats obtenus pour chaque excentricité dans les 2 tranches d'âge.



**Figure 31 :** Courbe de sensibilité aux contrastes en fonction de la FS pour chaque tranche d'âge et chaque excentricité.

Les résultats obtenus nous ont permis de déterminer le seuil liminaire pour la phase 3 ainsi que le pas. Ces résultats ont été obtenus à l'aide du logiciel informatique disponible avec la Matlab toolbox sur le lien suivant :

<http://code.google.com/p/fast-toolbox/> (77).

### III. Résultats de la phase 3 : méthode des limites

#### A. Données générales

40 yeux de 20 sujets sains ont été inclus dans cette 3<sup>ème</sup> phase de l'étude : 20 yeux de 10 sujets dans chacun des 2 groupes.

L'âge moyen des participants de la phase 3 est de 26,9 ans dans le groupe 20-30 ans et 59,01 dans le groupe 50-70 ans.

La durée du test pour la FSC centrale était de 1 min 22 pour le groupe 20–30 ans et 1 min 28 pour le groupe 50–70 ans. Le test de la FSC périphérique était de 21 min 48 pour le groupe 20–30 ans et 22 min 05 pour le groupe 50–70 ans.

Groupes d'âge	Phase 1		Phase 2		Phase 3	
	20-30 ans	50-70 ans	20-30 ans	50-70 ans	20-30 ans	50-70 ans
Nombre de patient	4	2	5	3	10	10
Nombre d'yeux	4	2	5	3	20	20
Durée test central	NC	NC	NC	NC	1 min 22	1 min 28
Durée test périphérique	NC	NC	NC	NC	21 min 48	22 min 05
Age moyen	27,75	60,5	26,2	54,67	26,9	59,01

**Tableau 1** : caractéristiques des différentes phases (NC pour non comptabilisé)

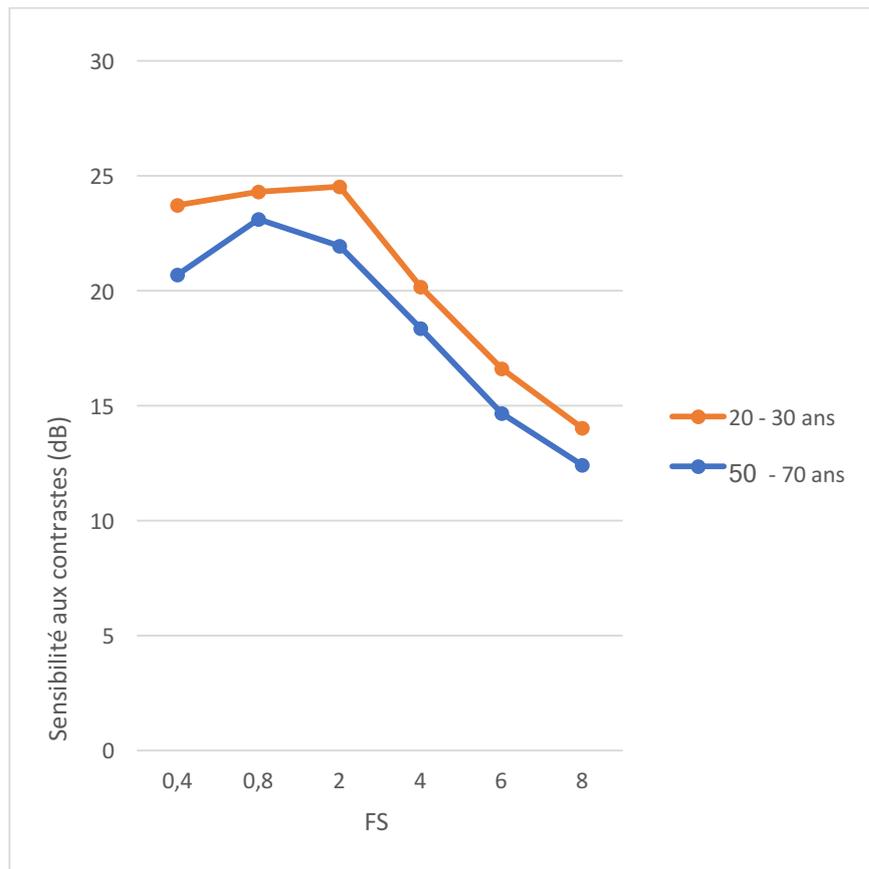
#### A. Fonction de sensibilité au contraste central

Au niveau fovéolaire, les résultats de la moyenne de sensibilité en dB en fonction de la FS et en fonction de la tranche d'âge sont résumés dans le tableau 2.

FS		20 - 30 ans	50 - 70 ans
0,4	Moyenne Sensibilité (dB)	<b>23,73</b>	<b>20,69</b>
	Ecart-type	<b>0,60</b>	<b>1,11</b>
0,8	Moyenne Sensibilité (dB)	<b>24,32</b>	<b>23,12</b>
	Ecart-type	<b>0,58</b>	<b>0,75</b>
2	Moyenne Sensibilité (dB)	<b>24,55</b>	<b>21,94</b>
	Ecart-type	<b>1,85</b>	<b>1,24</b>
4	Moyenne Sensibilité (dB)	<b>20,18</b>	<b>18,36</b>
	Ecart-type	<b>1,30</b>	<b>0,66</b>
6	Moyenne Sensibilité (dB)	<b>16,62</b>	<b>14,66</b>
	Ecart-type	<b>1,28</b>	<b>1,15</b>
8	Moyenne Sensibilité (dB)	<b>14,03</b>	<b>12,43</b>
	Ecart-type	<b>0,95</b>	<b>1,29</b>

**Tableau 2** : résultats de la FSC centrale en fonction de l'excentricité, pour les 2 tranches d'âge 20-30 ans et 50-70 ans.

A partir de ces résultats, la courbe de la FSC en fonction de la FS a été établie, et est présentée dans la figure 32. Les sujets de la tranche d'âge 50-70 ans présentent un pic de sensibilité aux contrastes pour une FS de 2 cpd. Pour les sujets de la tranche d'âge 50- 70 ans, le pic est à 0,8 cpd.



**Figure 32 :** courbe de la FSC centrale en fonction de la FS pour les tranches d'âge 20-30 ans et 50-70 ans.

## B. Fonction de sensibilité en fonction de l'excentricité

Les moyennes de sensibilité aux contrastes en fonction des 3 excentricités de chaque quadrant et en fonction de la FS pour les 2 tranches d'âge étudiées sont résumées dans les tableau 3 et 4. On obtient donc 72 moyennes de sensibilité aux contrastes (3 excentricités x 6 FS x 4 quadrants).

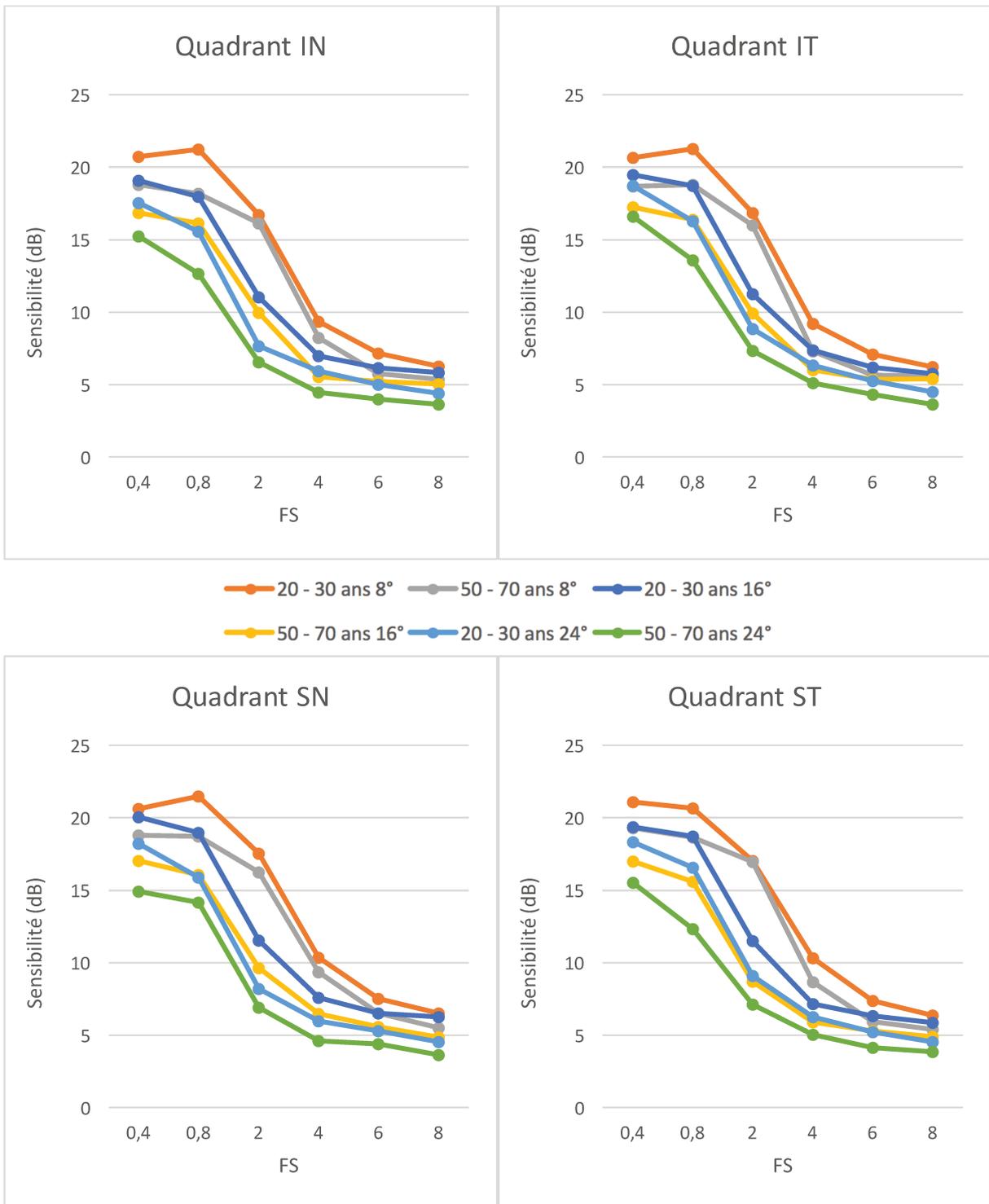
Quadrant	Excentricité	FS	20 - 30 ans		50 - 70 ans	
			Moyenne	ET	Moyenne	ET
IN	8°	0,4	20,73	1,46	18,78	1,44
IN	8°	0,8	21,24	1,27	18,18	1,17
IN	8°	2	16,72	0,86	16,13	0,61
IN	8°	4	9,35	0,81	8,22	1,06
IN	8°	6	7,18	0,30	5,75	1,06
IN	8°	8	6,27	0,48	5,38	0,53
IN	16°	0,4	19,09	1,06	16,86	1,58
IN	16°	0,8	17,98	0,92	16,13	1,18
IN	16°	2	11,04	0,73	9,95	0,99
IN	16°	4	6,99	0,45	5,56	1,09
IN	16°	6	6,15	0,41	5,21	0,67
IN	16°	8	5,84	0,51	5,06	0,52
IN	24°	0,4	17,55	1,06	15,24	2,38
IN	24°	0,8	15,55	1,40	12,65	1,63
IN	24°	2	7,68	1,20	6,57	0,92
IN	24°	4	5,93	0,39	4,48	1,18
IN	24°	6	4,99	0,53	3,99	0,88
IN	24°	8	4,41	0,34	3,64	0,71
IT	8°	0,4	20,66	1,46	18,69	1,73
IT	8°	0,8	21,27	1,10	18,79	1,26
IT	8°	2	16,84	0,84	16,01	0,78
IT	8°	4	9,19	0,63	7,30	1,61
IT	8°	6	7,10	0,63	5,67	0,82
IT	8°	8	6,23	0,32	5,60	0,60
IT	16°	0,4	19,49	0,86	17,25	0,93
IT	16°	0,8	18,73	1,19	16,40	1,62
IT	16°	2	11,25	0,60	9,91	1,40
IT	16°	4	7,39	0,30	6,02	0,68
IT	16°	6	6,20	0,43	5,36	0,43
IT	16°	8	5,76	0,34	5,40	0,24
IT	24°	0,4	18,71	1,35	16,61	1,14
IT	24°	0,8	16,28	0,91	13,60	2,09
IT	24°	2	8,87	1,31	7,32	1,07
IT	24°	4	6,33	0,36	5,10	0,74
IT	24°	6	5,25	0,24	4,32	0,49
IT	24°	8	4,51	0,29	3,65	0,66

**Tableau 3 :** FSC en fonction de l'excentricité et de la FS chez les 20-30 ans et les 50-70 ans, dans les quadrants inféro-nasal (IN) et inféro-temporal (IT).

Quadrant	Excentricité	FS	20 - 30 ans		50 - 70 ans	
			Moyenne	ET	Moyenne	ET
SN	8°	0,4	20,62	1,48	18,81	1,46
SN	8°	0,8	21,50	1,41	18,73	0,61
SN	8°	2	17,53	0,76	16,26	0,54
SN	8°	4	10,37	1,22	9,34	0,58
SN	8°	6	7,53	0,36	6,52	0,72
SN	8°	8	6,51	0,41	5,51	0,49
SN	16°	0,4	20,06	0,91	17,05	0,68
SN	16°	0,8	18,96	0,51	16,07	1,05
SN	16°	2	11,53	0,60	9,63	0,84
SN	16°	4	7,61	0,39	6,46	0,75
SN	16°	6	6,53	0,26	5,58	0,30
SN	16°	8	6,28	0,46	4,86	0,61
SN	24°	0,4	18,20	0,89	14,92	2,23
SN	24°	0,8	15,87	1,48	14,18	2,17
SN	24°	2	8,19	1,12	6,91	0,58
SN	24°	4	5,97	0,55	4,61	0,96
SN	24°	6	5,30	0,37	4,38	0,46
SN	24°	8	4,54	0,30	3,63	0,69
ST	8°	0,4	21,10	1,81	19,28	1,25
ST	8°	0,8	20,65	1,36	18,64	1,44
ST	8°	2	17,04	0,80	16,98	0,64
ST	8°	4	10,31	1,15	8,66	0,60
ST	8°	6	7,38	0,62	5,92	0,76
ST	8°	8	6,37	0,23	5,39	0,76
ST	16°	0,4	19,35	0,75	16,99	1,15
ST	16°	0,8	18,72	0,62	15,61	1,81
ST	16°	2	11,49	0,67	8,69	1,87
ST	16°	4	7,15	0,49	5,89	0,62
ST	16°	6	6,33	0,28	5,28	0,43
ST	16°	8	5,88	0,40	4,91	0,66
ST	24°	0,4	18,33	0,90	15,54	1,93
ST	24°	0,8	16,55	1,16	12,33	3,29
ST	24°	2	9,10	1,06	7,13	0,72
ST	24°	4	6,26	0,45	5,04	0,79
ST	24°	6	5,21	0,25	4,13	0,76
ST	24°	8	4,55	0,49	3,86	0,53

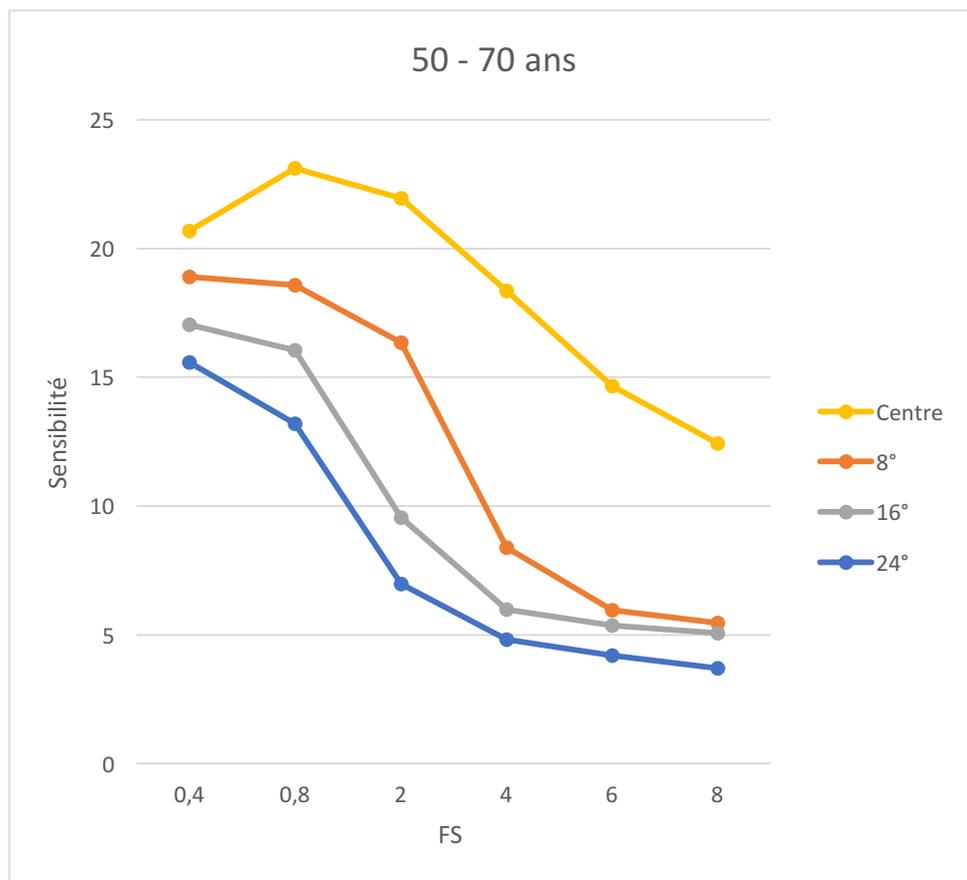
**Tableau 4 :** FSC en fonction de l'excentricité et de la FS chez les 20-30 ans et les 50-70 ans, dans les quadrants supéro-nasal (SN) et supéro-temporal (ST). FS pour fréquence spatiale et ET pour écart-type.

Les courbes de FSC pour les 2 tranches d'âge en fonction de l'excentricité et pour chaque quadrant sont représentées en figure 33. On obtient donc une courbe pour chaque excentricité ( $8^\circ$ ,  $16^\circ$  et  $24^\circ$ ), dans chacun des 4 quadrants et pour chaque tranche d'âge. Ce qui représente 24 courbes au total (3 excentricités x 4 quadrants x 2 groupes d'âge différents). Dans un souci de lisibilité, nous avons représenté les courbes sur 4 figures différentes, correspondant à chacun des 4 quadrants. Le seuil de sensibilité aux contrastes présente un pic pour une FS à 0,8 cpd dans chacun des quadrants et pour chaque excentricité. On retrouve des courbes de sensibilité abaissées dans le groupes 50-70 ans par rapport au groupe 20-30 ans qui prédomine sur les basses fréquences. On retrouve des courbes abaissées quand l'excentricité augmente, avec également une prédominance sur les basses fréquences.



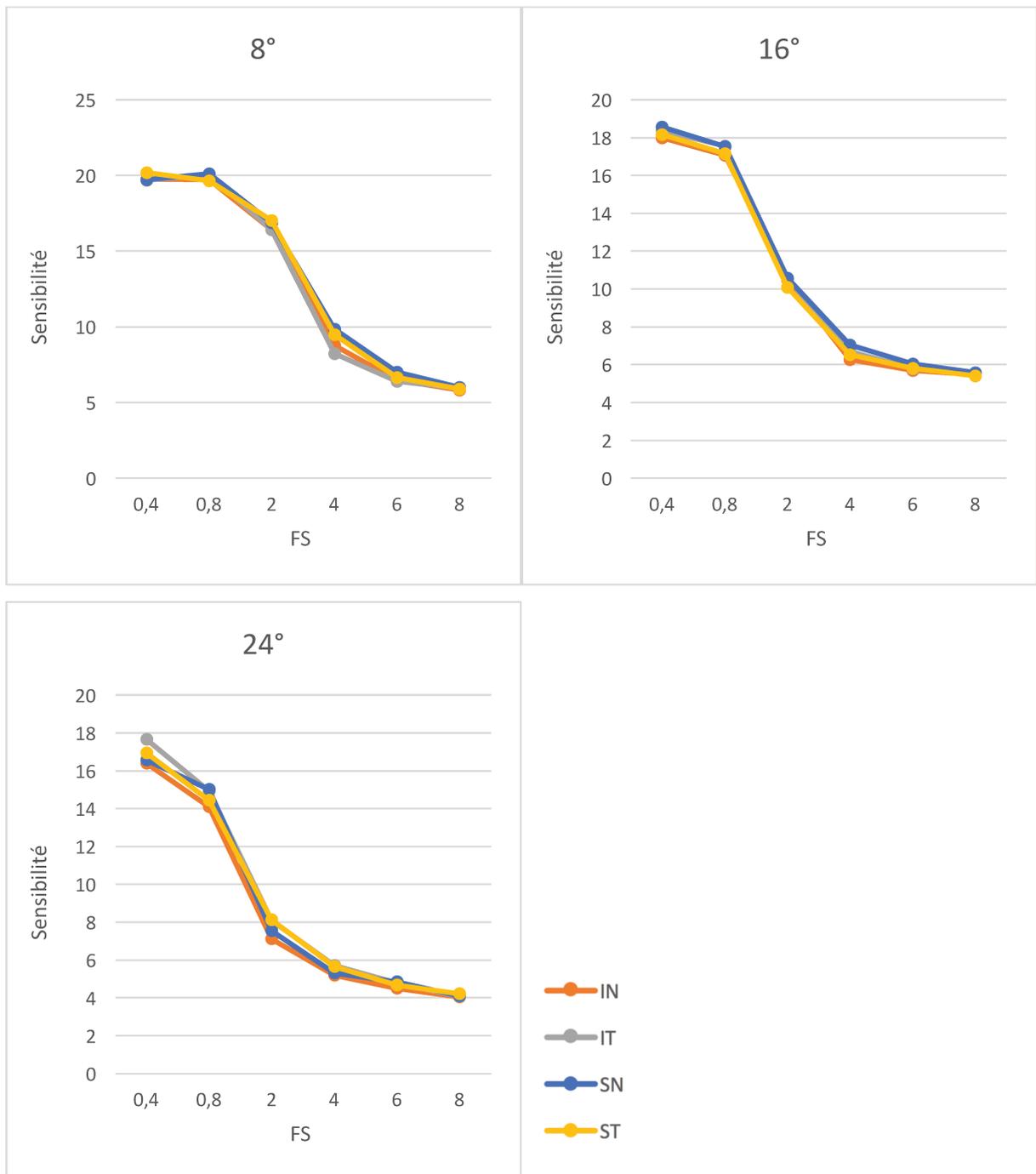
**Figure 33 :** **A** : FSC dans le quadrant inféro-nasal (IN) ; **B** : FSC dans le quadrant inféro-temporal (IT) ; **C** : FSC dans le quadrant supéro-nasal (SN) ; **D** : FSC dans le quadrant supéro-temporal (ST)

La figure 34 représente la courbe de FSC spatiales chez les 50-70 ans à différentes excentricités. Elles ont été obtenues à partir de la moyenne du seuil de sensibilité à chaque excentricité, sans distinction de quadrants. On remarque que le seuil de contraste est abaissé quand l'excentricité augmente. Le seuil de sensibilité est plus abaissé pour les hautes fréquences si on compare la FSC centrale aux périphériques. Par contre, si on compare les différentes excentricités entre-elles, la sensibilité est plus abaissée pour les basses fréquences.



**Figure 34 :** courbe de sensibilité aux contrastes en fonction de la FS à différentes excentricités sans distinction du quadrant dans le groupe des 50-70 ans.

Les figures 35 A, B et C représentent la FSC spatiale pour chaque excentricité, sans distinction de tranche d'âge. Les courbes sont relativement superposables, on ne retrouve donc pas de différences de sensibilité selon le quadrant.



**Figure 35 :** **A** : FSC spatiale à 8° d'excentricité pour chaque quadrant ; **B** : FSC spatiale à 16° d'excentricité pour chaque quadrant ; **C** : FSC spatiale à 24° d'excentricité pour chaque quadrant.



## DISCUSSION

Cette étude a permis l'élaboration d'un dispositif expérimental permettant l'étude de la FSC, en s'inspirant des champs visuels utilisés dans le glaucome, et avec la particularité d'étudier la périphérie.

Dans cette étude, nous avons voulu déterminer des seuils de sensibilité spatiale aux contrastes en fonction de l'excentricité, chez des sujets sains de deux tranches d'âge, afin de définir des normes.

Les phases 1 et 2 étaient des phases préliminaires destinées à obtenir un seuil de contraste liminaire et des pas. Le but de ces étapes était de réaliser un test en phase 3 avec une durée la plus courte possible afin d'éviter au maximum les biais liés à la déconcentration des sujets.

Les résultats obtenus en phase 1 et 2 n'étaient pas destinés à être analysés mais simplement à l'élaboration de la phase 3. C'est pourquoi nous ne discuterons ici que des résultats de la 3<sup>ème</sup> phase.

Notre étude montre une diminution de la FSC lorsque le degré d'excentricité augmente. Cette diminution se fait prioritairement au détriment des hautes FS si on compare les FSC centrales et périphériques, mais elle se fait au détriment des basses FS quand on compare les FSC périphériques entre elles.

On retrouve également un abaissement de la sensibilité aux contrastes chez des sujets du groupe 50-70 ans par rapport au groupe 20-30 ans, avec une baisse plus importante sur les basses FS.

Notre étude retrouve des courbes de FSC superposables dans les différents quadrants et cela pour toutes les excentricités.

Plusieurs études ont réalisé des tests en vision binoculaire. Nous avons pris le parti de faire une analyse monoculaire car notre but sera d'étudier des yeux pathologiques dans un second temps. De plus, Biondini et al. (44) ont démontré que

l'étude en vision monoculaire apporte des résultats plus précis, et qu'en vision binoculaire, on retrouve un décalage de la courbe vers les contrastes les plus faibles.

Arundale et al. (55) ont étudié la FSC centrale chez des sujets sains et des patients atteints de rétinopathie diabétique et de dégénérescence maculaire, ayant un âge compris entre 8 et 66 ans. Le temps de test pour les deux yeux était approximativement de 20 minutes, mais les FSC périphériques n'étaient pas explorées, ce qui explique qu'on obtienne des durées plus longues dans notre étude. Dans cette étude, le groupe des patients de 18 à 39 ans avait un pic de sensibilité à 4 cpd, alors que le groupe des 45 à 66 ans avait un pic de 2 cpd. Dans notre étude le pic de sensibilité se situait à 0,8 cpd pour les 50-70 ans et 2 cpd pour les 20-30 ans. On retrouve donc une courbe qui se décale vers les basses FS quand l'âge augmente comme dans l'étude d'Arundale et al.. Mais dans notre étude les courbes sont plus décalées vers les basses FS dans les 2 groupes d'âge étudiés. Dans l'étude d'Arundale et al., le groupe des 45-66 ans obtient des seuils de sensibilité plus bas, aux moyennes et hautes fréquences, par rapport au groupe 18-39 ans, et des sensibilités égales pour des FS de inférieures ou égales à 0,5 cpd. On ne retrouve pas cette similitude des courbes au niveau des basses FS, pour les 2 tranches d'âge étudiée, dans notre étude. Cependant nos courbes étant décalées vers les basses FS par rapport à l'étude d'Arundale et al., on peut supposer, qu'on aurait pu retrouver cette notion si on avait étudié des FS plus basses.

Beazley et al (53). ont étudié la FSC chez 135 sujets âgés de 3 à 29 ans. Les FS étudiées étaient : 0,25 ; 0.5 ; 1 ; 2 ; 4 ; 8 ; 16. Les résultats retrouvaient un pic de sensibilité à 4 cpd dans les 4 groupes d'âge. Dans le groupe 18 – 29 ans, le seuil de sensibilité centrale pour 4 cpd est de 18,45 dB. Dans cette étude la FSC spatiale s'améliore jusqu'à l'âge adulte. Notre étude retrouve des seuils de sensibilité plus élevés, et un décalage de la courbe vers les basses FS.

Pour Bradley et al., la FSC spatiale s'améliore jusqu'à l'âge de 8 ans (78). Et Arden et al. n'ont pas noté de différence de la sensibilité aux contrastes entre 13 et 70 ans. Avant 13 ans, la FSC était inférieure à celle de l'adulte (79). Notre étude retrouve une différence entre les groupes d'âge 20-30 ans et 50-70 ans, mais une

autre seconde étude avec plus de tranches d'âge et des effectifs plus importants serait nécessaire pour savoir si cette différence est statistiquement significative.

Skalka et al. (80) ont mis en évidence une diminution de la FSC pour toutes les FS, de façon proportionnelle avec l'âge. Au niveau central, il semble qu'on retrouve cette notion de diminution proportionnelle avec l'âge pour toutes les FS.

L'étude la FSC par Owsley et al. (56) portait sur 91 personnes, âgées de 19 à 87 ans, avec un examen ophtalmologique strictement normal. Contrairement à notre étude, le diamètre pupillaire était systématique mesuré. L'étude montrait qu'après 40 ans, la sensibilité aux contrastes diminuait pour des FS supérieures à 2 cpd. Il n'y avait pas de différence statistiquement significative pour les FS à 0,5 à 1 cpd. Le pic de seuil de contraste se situait sur la FS de 4 cpd pour les participants de moins de 60 ans, et la FS de 2 cpd pour les participants de plus de 60 ans. Cependant cette différence en fonction de l'âge n'était pas liée qu'à l'âge mais aussi à des différences d'acuité visuelle selon l'âge. Dans notre étude tous les sujets avaient une acuité visuelle de 10/10 Parinaud 2 avec la correction optique adaptée.

Zanlonghi et al. (42) ont étudié la FSC sur 133 yeux, après examen ophtalmologique complet, chez des sujets ayant une acuité visuelle entre 9/10 et 12/10 pour les moins de 55 ans et entre 8/10 et 10/10 après 55 ans. Pour tous les groupes d'âge de plus de 12 ans, il n'y avait pas d'influence de l'âge sur la FSC des FS les plus basses (0,69 ; 1,38 et 2,76 cpd dans l'étude). Plus l'âge augmentait, plus la FSC diminuait pour les FS les plus hautes (5,52 ; 11,04 et 22,08 cpd dans l'étude). Le pic de sensibilité se trouvait sur la FS 5,5 cpd, sauf pour les plus de 71 ans sur la FS 2,7 cpd.

Toutes ces études précédemment citées, ne s'intéressent qu'à la FSC centrale. Peu d'auteurs se sont penchés sur la sensibilité aux contrastes en périphérie.

Rovamo et al. (46) ont étudié la FSC en fonction de l'excentricité. Mais contrairement à notre étude, l'analyse se faisait de manière binoculaire. Les excentricités étudiées étaient les suivantes : 0° ; 1,5° ; 4° ; 7,5° ; 14° ; 30°. Leurs travaux montrent un décalage vers le bas et vers la gauche des courbes de sensibilité aux contrastes. Dans notre étude, l'aspect de la courbe pour l'étude périphérique semble également avoir subi une translation vers le bas et vers la

gauche par rapport au centre. Mais il aurait été intéressant dans notre étude d'étudier des FS inférieures à 0,4 cpd pour avoir une analyse plus complète de la courbe. Rovamo et al. proposaient un facteur d'agrandissement du stimulus en fonction de la représentation corticale pour les différentes excentricités, dans le but d'obtenir des performances similaires dans toutes les excentricités.

D'après Blakemore et al. (47), les hautes FS seraient traitées dans la partie centrale du CV, et les basses FS en périphérie. D'après Watson et al. (48) et Robson et al. (49), le sujet serait capable d'analyser toutes FS dans son champ visuel, mais la sensibilité aux hautes FS baisserait plus que la sensibilité aux basses FS. Nos résultats sont en accord avec cette hypothèse. En effet, nos résultats montrent une sensibilité plus basse dans les hautes fréquences que dans les basses fréquences, quand on compare la sensibilité centrale et la sensibilité périphérique.

Notre étude présente des limites qui ont pu influencer les résultats. Nous n'avons pas contrôlé le diamètre pupillaire des yeux étudiés, or, des études ont démontré que celui-ci pouvait modifier la FCS, notamment en cas de myosis sénile (57).

De plus, nous avons contrôlé l'acuité visuelle pour obtenir 10/10 sans rechercher des acuités visuelles supérieures entre 12/10 et 20/10. Owsley et al. (56) ont démontré que des acuités visuelles différentes sont corrélées à des seuils de sensibilité aux contrastes différents.

Nous n'avons pas inclus toutes les tranches d'âge et il serait intéressant de le faire afin d'obtenir une norme pour tous les sujets réalisant ce test.

La durée du test peut paraître trop longue pour maintenir une concentration optimale du participant. Cependant, cette étude ayant pour but d'établir des normes, nous ne pouvions que difficilement raccourcir la durée du test. Il serait tout à fait envisageable dans une autre étude, de diminuer sensiblement la durée du test, en ne recherchant que deux changements de perception (similaire à un algorithme 4-2 des champs visuels Humphrey).

Il serait également intéressant d'intégrer des critères de fiabilité : faux positif, faux négatif, nombre de perte de fixations.

D'autre part, les courbes obtenues en périphérie étaient décalées vers le bas et vers la gauche par rapport au centre. Une étude des FS inférieures à 0,4 cpd serait intéressante, afin d'étudier l'ensemble du visuogramme au niveau de la périphérie.

Dans notre étude, nous n'avons pas cherché à réaliser une comparaison des 2 groupes de population car le but était d'obtenir une moyenne pour chaque FS, de chaque point étudié, afin d'établir des normes. Cette étude a permis la mise en place d'un test inédit de la sensibilité aux contrastes en fonction de l'excentricité.



## CONCLUSION

La sensibilité aux contrastes fait intervenir des voies visuelles spécifiques. De nombreuses études ont prouvé son atteinte en présence de nombreuses pathologies ophtalmologiques. Mais peu d'études se sont intéressées à la FSC en périphérie.

Le critère de jugement principal de notre étude étant d'obtenir une moyenne de la sensibilité aux contrastes dans 2 groupes d'âge différents, nous n'avons pas cherché à réaliser une comparaison des 2 groupes de population. Le but final étant d'obtenir des normes et non de réaliser une comparaison des deux groupes de population.

Cette étude a permis la mise en place d'un test inédit de la sensibilité aux contrastes en fonction de l'excentricité. Ce test pourra être utilisé dans tout type de pathologie ophtalmologique, mais nous avons cherché à nous rapprocher le plus possible des protocoles des champs visuels de type blanc-blanc, afin de l'utiliser chez des patients atteints de glaucome. Il serait donc intéressant d'étudier les scotomes des patients glaucomateux en comparant les résultats des champs visuels standards de l'étude la FSC en fonction de l'excentricité. Les résultats de notre étude seront donc indispensables pour catégoriser une atteinte de la FSC en présence de scotome. Et on pourrait également étudier les images réellement perçues par les patients glaucomateux. On pourrait imaginer la possibilité de modifier une image donnée avec les résultats de sensibilité aux contrastes et la présenter à un patient atteint de glaucome pour savoir si elle se rapproche de l'image réellement perçue. En effet, nous savons que la perception réelle du patient glaucomateux est très éloignée de l'échelle de gris obtenue en champ visuel de type blanc-blanc.

L'étude la FSC en périphérie chez des patients atteints de glaucome aurait également un intérêt réel pour une meilleure compréhension des voies visuelles atteintes dans cette pathologie.

Il serait donc intéressant de poursuivre les études à partir de ce dispositif expérimental, afin d'établir des normes pour toutes tranches d'âge. Puis dans un second temps de l'utiliser pour des patients atteints de pathologies ophtalmologiques, en particulier dans le glaucome.



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. M. Doly, I. Ranchon-Cole. Phénomènes chimiques de la vision et transmission synaptique de la rétine. EM-Consulte.
2. Tourbah A, Cabanis EA, Schaison-Cusin M, Bakchine S, Lyon-Caen O, Pierrot-Deseilligny C. Manifestations ophtalmologiques des atteintes du système nerveux.
3. Moritoh S, Komatsu Y, Yamamori T, Koizumi A. Diversity of Retinal Ganglion Cells Identified by Transient GFP Transfection in Organotypic Tissue Culture of Adult Marmoset Monkey Retina. PLoS ONE [Internet]. 15 janv 2013;8(1).
4. Bunt AH, Minckler DS. Foveal sparing. New anatomical evidence for bilateral representation of the central retina. Arch Ophthalmol Chic Ill 1960. août 1977;95(8):1445-7.
5. Prasad S, Galetta SL. Anatomy and physiology of the afferent visual system. Handb Clin Neurol. 2011;102:3-19.
6. Kupper C. The projection of the macula in the lateral geniculate nucleus of man. Am J Ophthalmol. oct 1962;54:597-609.
7. Horton JC, Hoyt WF. The representation of the visual field in human striate cortex. A revision of the classic Holmes map. Arch Ophthalmol Chic Ill 1960. juin 1991;109(6):816-24.
8. Gray LG, Galetta SL, Schatz NJ. Vertical and horizontal meridian sparing in occipital lobe homonymous hemianopias. Neurology. avr 1998;50(4):1170-3.
9. Galetta SL, Grossman RI. The representation of the horizontal meridian in the primary visual cortex. J Neuro-Ophthalmol Off J North Am Neuro-Ophthalmol Soc. juin 2000;20(2):89-91.
10. Nassi JJ, Callaway EM. Parallel Processing Strategies of the Primate Visual System. Nat Rev Neurosci. mai 2009;10(5):360-72.
11. McKendrick AM, Sampson GP, Walland MJ, Badcock DR. Contrast sensitivity changes due to glaucoma and normal aging: low-spatial-frequency losses in both magnocellular and parvocellular pathways. Invest Ophthalmol Vis Sci. mai 2007;48(5):2115-22.

12. Frisén L. High-pass resolution perimetry. *Neuro-Ophthalmol.* 1 janv 1992;12(4):257-64.
13. Alvarez SL, Pierce GE, Vingrys AJ, Benes SC, Weber PA, King-Smith PE. Comparison of red-green, blue-yellow and achromatic losses in glaucoma. *Vision Res.* août 1997;37(16):2295-301.
14. Silveira LC, Perry VH. The topography of magnocellular projecting ganglion cells (M-ganglion cells) in the primate retina. *Neuroscience.* 1991;40(1):217-37.
15. Anderson AJ, Johnson CA. Frequency-doubling technology perimetry. *Ophthalmol Clin N Am.* juin 2003;16(2):213-25.
16. Dacey DM. Physiology, morphology and spatial densities of identified ganglion cell types in primate retina. *Ciba Found Symp.* 1994;184:12-28-34, 63-70.
17. Felius J, de Jong LA, van den Berg TJ, Greve EL. Functional characteristics of blue-on-yellow perimetric thresholds in glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* juill 1995;36(8):1665-74.
18. Quigley HA, Dunkelberger GR, Green WR. Chronic human glaucoma causing selectively greater loss of large optic nerve fibers. *Ophthalmology.* mars 1988;95(3):357-63.
19. Sample PA, Boynton RM, Weinreb RN. Isolating the color vision loss in primary open-angle glaucoma. *Am J Ophthalmol.* 15 déc 1988;106(6):686-91.
20. Morgan JE. Retinal ganglion cell shrinkage in glaucoma. *J Glaucoma.* août 2002;11(4):365-70.
21. Renard J-P, Sahel A-J, Mrejen S, Sellem E, d'Ophtalmologie SF. Glaucome primitif à angle ouvert: Rapport SFO 2014. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2014. 792 p.
22. Nordmann JP. Périmétrie automatique. Laboratoire Chauvin Bausch & Lomb; 2001. 150 p.
23. Ramulu P. Glaucoma and Disability: Which tasks are affected, and at what stage of disease? *Curr Opin Ophthalmol.* mars 2009;20(2):92-8.
24. Stiles WS. Color Vision : The approach through increment - Threshold sensitivity. *Proc Natl Acad Sci U S A.* janv 1959;45(1):100-14.
25. Alpern M, Kitahara K. The directional sensitivities of the Stiles' colour mechanisms. *J Physiol.* mai 1983;338:627-49.
26. Wild JM. Short wavelength automated perimetry. *Acta Ophthalmol Scand.* 1 déc 2001;79(6):546-59.

27. Wild JM, Cubbidge RP, Pacey IE, Robinson R. Statistical aspects of the normal visual field in short-wavelength automated perimetry. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* janv 1998;39(1):54-63.
28. Heijl A, Lindgren G, Olsson J. Normal variability of static perimetric threshold values across the central visual field. *Arch Ophthalmol Chic Ill* 1960. nov 1987;105(11):1544-9.
29. Johnson CA, Samuels SJ. Screening for glaucomatous visual field loss with frequency-doubling perimetry. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* févr 1997;38(2):413-25.
30. Cello KE, Nelson-Quigg JM, Johnson CA. Frequency doubling technology perimetry for detection of glaucomatous visual field loss. *Am J Ophthalmol.* mars 2000;129(3):314-22.
31. Paczka JA, Friedman DS, Quigley HA, Barron Y, Vitale S. Diagnostic capabilities of frequency-doubling technology, scanning laser polarimetry, and nerve fiber layer photographs to distinguish glaucomatous damage. *Am J Ophthalmol.* févr 2001;131(2):188-97.
32. Racette L, Medeiros FA, Zangwill LM, Ng D, Weinreb RN, Sample PA. Diagnostic accuracy of the Matrix 24-2 and original N-30 frequency-doubling technology tests compared with standard automated perimetry. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* mars 2008;49(3):954-60.
33. Brusini P, Salvetat ML, Zeppieri M, Parisi L. Frequency doubling technology perimetry with the Humphrey Matrix 30-2 test. *J Glaucoma.* avr 2006;15(2):77-83.
34. Kim T-W, Zangwill LM, Bowd C, Sample PA, Shah N, Weinreb RN. Retinal Nerve Fiber Layer Damage as Assessed by Optical Coherence Tomography in Eyes With Visual Field Defect Detected by Frequency Doubling Technology Perimetry but Not by Standard Automated Perimetry in the Diagnostic Innovations in Glaucoma Study (DIGS). *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1 mai 2006;47(13):4002-4002.
35. Leeprechanon N, Giangiacomo A, Fontana H, Hoffman D, Caprioli J. Frequency-doubling perimetry: comparison with standard automated perimetry to detect glaucoma. *Am J Ophthalmol.* févr 2007;143(2):263-71.
36. Medeiros FA, Sample PA, Weinreb RN. Frequency doubling technology perimetry abnormalities as predictors of glaucomatous visual field loss. *Am J Ophthalmol.* mai 2004;137(5):863-71.
37. Enroth-Cugell C, Robson JG. The contrast sensitivity of retinal ganglion cells of the cat. *J Physiol.* déc 1966;187(3):517-52.
38. Campbell FW, Maffei L. Contrast and spatial frequency. *Sci Am.* nov 1974;231(5):106-14.
39. Corbé C. Sensibilité au contraste. EM-Consulte. 2002

40. Hashemi H, Khabazkhoob M, Jafarzadehpur E, Emamian MH, Shariati M, Fotouhi A. Contrast sensitivity evaluation in a population-based study in Shahroud, Iran. *Ophthalmology*. mars 2012;119(3):541-6.
41. Nordmann J-P. Sensibilité au contraste. EM-Consulte. 1991
42. Zanlonghi X, J Char, N C. SENSIBILITE AU CONTRASTE SPATIALE ET AGE. ResearchGate. 4 mars 1992;10:921-9.
43. Wandell Brian. Foundations of Vision. Chapter 5: The Retinal Representation
44. Biondini AR, de Mattiello ML. Suprathreshold contrast perception at different luminance levels. *Vision Res*. 1985;25(1):1-9.
45. Daniel PM, Whitteridge D. The representation of the visual field on the cerebral cortex in monkeys. *J Physiol*. déc 1961;159(2):203-21.
46. Rovamo J, Virsu V, Näsänen R. Cortical magnification factor predicts the photopic contrast sensitivity of peripheral vision. *Nature*. 5 janv 1978;271(5640):54-6.
47. Blakemore C, Campbell FW. On the existence of neurones in the human visual system selectively sensitive to the orientation and size of retinal images. *J Physiol*. juill 1969;203(1):237-260.1.
48. Watson AB. Estimation of local spatial scale. *J Opt Soc Am A*. août 1987;4(8):1579-82.
49. Robson JG, Graham N. Probability summation and regional variation in contrast sensitivity across the visual field. *Vision Res*. 1981;21(3):409-18.
50. Banks MS. The development of spatial and temporal contrast sensitivity. *Curr Eye Res*. 1983 1982;2(3):191-8.
51. Banks MS, Salapatek P. Acuity and contrast sensitivity in 1-, 2-, and 3-month-old human infants. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. avr 1978;17(4):361-5.
52. Atkinson J, Braddick O, Moar K. Development of contrast sensitivity over the first 3 months of life in the human infant. *Vision Res*. 1977;17(9):1037-44.
53. Beazley LD, Illingworth DJ, Jahn A, Greer DV. Contrast sensitivity in children and adults. *Br J Ophthalmol*. nov 1980;64(11):863-6.
54. Sekuler R, Hutman LP, Owsley CJ. Human aging and spatial vision. *Science*. 12 sept 1980;209(4462):1255-6.
55. Arundale K. An investigation into the variation of human contrast sensitivity with age and ocular pathology. *Br J Ophthalmol*. avr 1978;62(4):213-5.

56. Owsley C, Sekuler R, Siemsen D. Contrast sensitivity throughout adulthood. *Vision Res.* 1983;23(7):689-99.
57. Woodhouse JM. The effect of pupil size on grating detection at various contrast levels. *Vision Res.* juin 1975;15(6):645-8.
58. Grey CP. Changes in contrast sensitivity during the first hour of soft lens wear. *Am J Optom Physiol Opt.* sept 1986;63(9):702-7.
59. Lundh BL. Central and peripheral contrast sensitivity for static and dynamic sinusoidal gratings in glaucoma. *Acta Ophthalmol (Copenh).* oct 1985;63(5):487-92.
60. Arden GB, Jacobson JJ. A simple grating test for contrast sensitivity: preliminary results indicate value in screening for glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* janv 1978;17(1):23-32.
61. Stamper RL, Hsu-Winges C, Sopher M. Arden contrast sensitivity testing in glaucoma. *Arch Ophthalmol Chic Ill 1960.* juin 1982;100(6):947-50.
62. Sokol S, Domar A, Moskowitz A. Utility of the Arden grating test in glaucoma screening: high false-positive rate in normals over 50 years of age. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* déc 1980;19(12):1529-33.
63. Loshin DS, White J. Contrast sensitivity. The visual rehabilitation of the patient with macular degeneration. *Arch Ophthalmol Chic Ill 1960.* sept 1984;102(9):1303-6.
64. Ghafour IM, Foulds WS, Allan D, McClure E. Contrast sensitivity in diabetic subjects with and without retinopathy. *Br J Ophthalmol.* août 1982;66(8):492-5.
65. Marmor MF. Contrast sensitivity versus visual acuity in retinal disease. *Br J Ophthalmol.* juill 1986;70(7):553-9.
66. Kupersmith MJ, Seiple WH, Nelson JI, Carr RE. Contrast sensitivity loss in multiple sclerosis. Selectivity by eye, orientation, and spatial frequency measured with the evoked potential. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* juin 1984;25(6):632-9.
67. Nordmann JP, Saraux H, Rouillet E. Contrast sensitivity in multiple sclerosis. A study in 35 patients with and without optic neuritis. *Ophthalmol J Int Ophtalmol Int J Ophthalmol Z Augenheilkd.* 1987;195(4):199-204.
68. Rogers GL, Bremer DL, Leguire LE. The contrast sensitivity function and childhood amblyopia. *Am J Ophthalmol.* 15 juill 1987;104(1):64-8.
69. Nordmann JP, Roncin JP, Denis P, Blein JP, Saraux H. Contrast sensitivity as an early indicator of acute mountain sickness. *Am J Ophthalmol.* 15 mai 1991;111(5):651-3.

70. Nissen MJ, Corkin S, Buonanno FS, Growdon JH, Wray SH, Bauer J. Spatial vision in Alzheimer's disease. General findings and a case report. *Arch Neurol.* juill 1985;42(7):667-71.
71. Bodis-Wollner I, Marx MS, Mitra S, Bobak P, Mylin L, Yahr M. Visual dysfunction in Parkinson's disease. Loss in spatiotemporal contrast sensitivity. *Brain J Neurol.* déc 1987;110 ( Pt 6):1675-98.
72. Stamper RL. Psychophysical changes in glaucoma. *Surv Ophthalmol.* févr 1989;33 Suppl:309-18.
73. Wilensky JT, Hawkins A. Comparison of contrast sensitivity, visual acuity, and Humphrey visual field testing in patients with glaucoma. *Trans Am Ophthalmol Soc.* 2001;99:213-217-218.
74. Hyvärinen L, Rovamo J, Laurinen P, Saarinen J, Näsänen R. Contrast sensitivity in monocular glaucoma. *Acta Ophthalmol (Copenh).* oct 1983;61(5):742-50.
75. Zulauf M, Flammer J. Correlation of spatial contrast sensitivity and visual fields in glaucoma. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol Albrecht Von Graefes Arch Klin Exp Ophthalmol.* mars 1993;231(3):146-50.
76. Kline DW, Schieber F, Abusamra LC, Coyne AC. Age, the Eye, and the Visual Channels: Contrast Sensitivity and Response Speed. *J Gerontol.* 1 mars 1983;38(2):211-6.
77. Vul E, Bergsma J, MacLeod DIA. Functional adaptive sequential testing. *Seeing Perceiving.* 2010;23(5-6):483-515.
78. Bradley A, Freeman RD. Contrast sensitivity in children. *Vision Res.* 1982;22(8):953-9.
79. Arden GB. The importance of measuring contrast sensitivity in cases of visual disturbance. *Br J Ophthalmol.* avr 1978;62(4):198-209.
80. Skalka et al. Comparison of Snellen Acuity, VER Acuity, and Arden Grating Scores in Macular and Optic Nerve Diseases. *Br J Ophthalmol.* 1980 Jan; 64(1): 24-29.



**AUTEUR : Nom : ANSQUIN**

**Prénom : Maxime**

**Date de Soutenance : 20 juin 2017**

**Titre de la Thèse : Détermination des seuils de sensibilité aux contrastes en fonction de la fréquence spatiale et de l'excentricité chez le sujet sain**

**Thèse - Médecine - Lille 2017**

**Cadre de classement : Ophtalmologie / Neuro-sciences visuelles**

**DES + spécialité : Ophtalmologie**

**Mots-clés : sensibilité aux contrastes, fréquences spatiales, fonction de sensibilité aux contrastes, seuil de sensibilité, excentricité.**

**Résumé :**

**Contexte :**

De nombreuses pathologies oculaires entraînent une altération de la sensibilité aux contrastes spatiaux en rapport avec une atteinte des voies visuelles, mais peu d'études se sont intéressées à ce paramètre dans la périphérie du champ visuel.

**Méthode :**

Le dispositif expérimental comprend 4 écrans présentant un stimulus variant sur la fréquence spatiale et le contraste à 13 points différents du champ. Après approche du seuil de contraste par choix manuel statique puis test séquentiel adaptatif, nous avons déterminé un seuil par une méthode des limites.

**Résultats :**

40 yeux de 20 participants sains de 2 groupes d'âge différents : 20-30 ans et 50-70 ans, ont été inclus pour la dernière phase de l'étude. Nous avons observé une sensibilité aux contrastes plus basses dans le groupe 50-70 ans au centre et en périphérie pour toutes les fréquences spatiales. La sensibilité aux contrastes baisse quand l'excentricité augmente. Le pic de sensibilité se situe à 0,8 cpd pour tous les tests sauf au centre pour les 20-30 ans où il est à 2 cpd.

**Conclusion :**

Nous avons pu déterminer des seuils de sensibilité en fonction de la fréquence spatiale pour toutes les excentricités et dans les 2 groupes d'âge dans le but de créer une norme pour ce dispositif expérimental. Ces normes serviront pour étudier les pathologies oculaires et explorer les différentes voies visuelles

**Composition du Jury :**

**Président : Pr ROULAND Jean-François**

**Asseseurs : Pr LABALETTE Pierre, Pr CHEVALIER Dominique, Dr Boucart Muriel**