



BU bibliothèque Lyon 1

<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

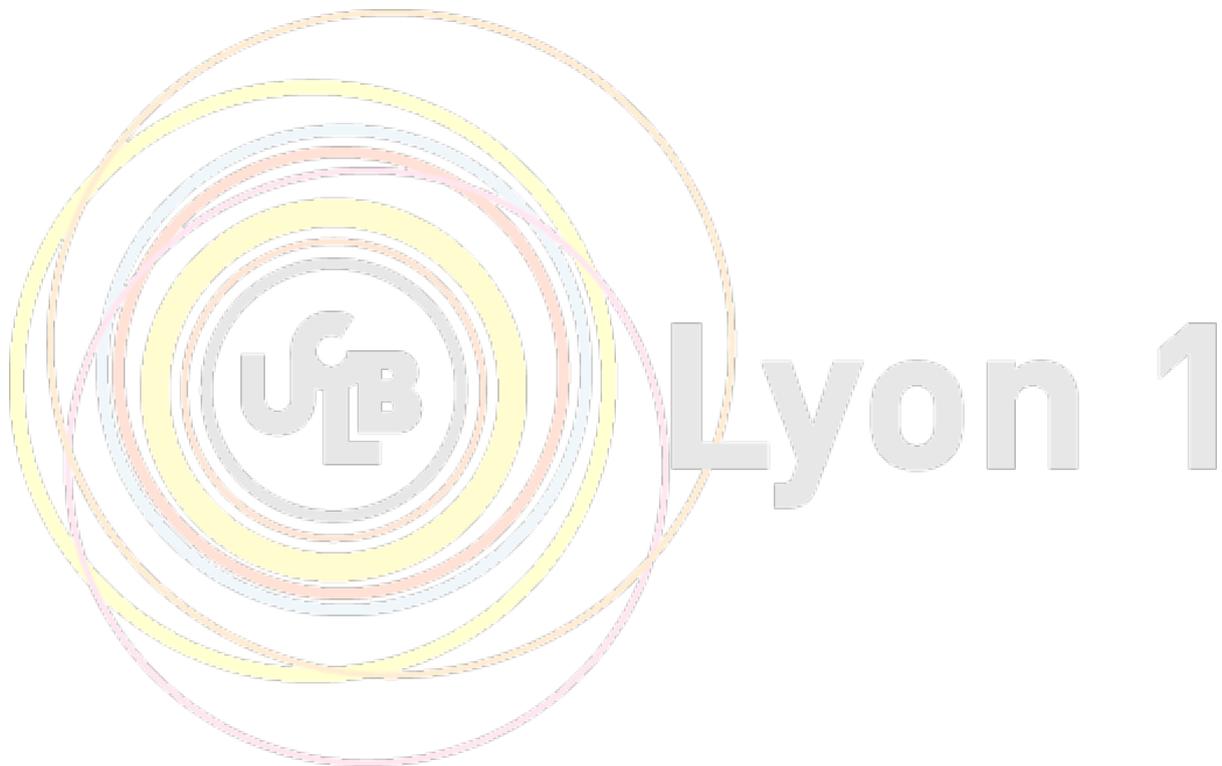
Creative commons : Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale -  
Pas de Modification 2.0 France (CC BY-NC-ND 2.0)



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr>

Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat de Masso-kinésithérapie

# Mémoire de recherche clinique dans le cadre de la rééducation vestibulaire



## Corrélation entre la verticale visuelle subjective et l'amplitude de la contre rotation oculaire

Soutenu par **M. VINCENT Julian**

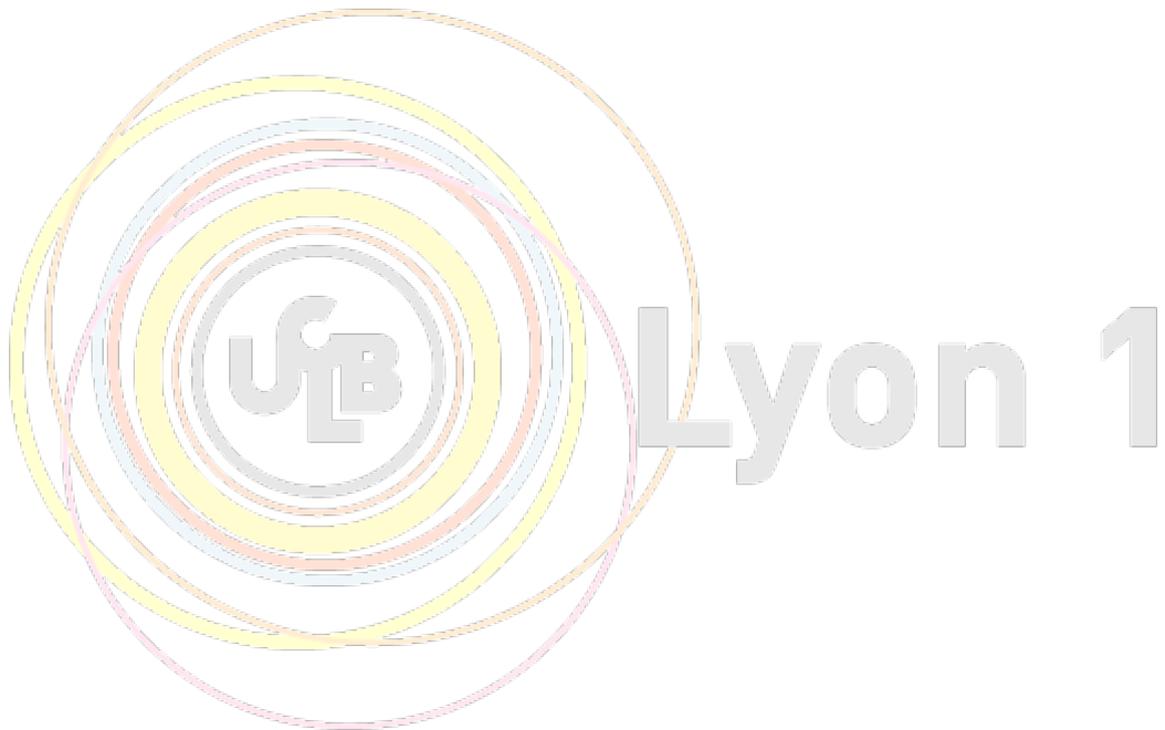
Année universitaire 2014-2015

---

MÉMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'ÉTAT DE  
MASSO-KINÉSITHÉRAPIE

---

*Existe-t-il une corrélation entre l'estimation de  
la verticale visuelle subjective et  
l'amplitude de la contre rotation oculaire  
lors de l'inclinaison de la tête ?*



Université Claude Bernard Lyon 1 – ISTR

Soutenu par M. VINCENT Julian

Dirigé par M. FOUQUET Hervé

Encadré par M. DUMAS Olivier

Année universitaire 2014-2015

---

# RÉSUMÉ

---

Avoir une bonne perception de la verticale est un élément essentiel, dont on n'a pas véritablement conscience au quotidien. En rééducation vestibulaire, il n'est pas rare de rencontrer des individus présentant des troubles de la perception de la verticale et donc de l'environnement qui les entoure.

Pour évaluer la perception de la verticale chez un patient, le test de la verticale visuelle subjective (VVS) reste le test de référence. En effet, il permet d'évaluer aisément et rapidement la perception de la verticale d'un patient et par la même d'explorer la fonction otolithique de l'oreille interne en partie responsable de cette perception. Parallèlement à cela, d'après de nombreuses études, on sait que le réflexe de contre rotation oculaire (CRO) statique induit par l'inclinaison de la tête est en majeure partie d'origine otolithique. Par conséquent sachant cela, nous avons établi un protocole de recherche dans le but de mettre en évidence une éventuelle corrélation entre la perception de la verticale et l'amplitude de la contre rotation oculaire.

Après avoir recruté et étudié la perception de la verticale ainsi que la contre rotation oculaire de 57 sujets sains (24 femmes et 16 hommes) âgés de 18 à 71 ans, nous avons démontré qu'il y avait pour ainsi dire aucune corrélation linéaire entre la déviation de la verticale et l'amplitude de la contre rotation oculaire lors de l'inclinaison de la tête de 30° vers l'épaule gauche et l'épaule droite. Ce constat qui au premier abord peut paraître surprenant, peut s'expliquer par le fait que la perception de la verticale est le fruit de l'intégration d'un ensemble d'informations vestibulaire, somato-sensoriel, et visuelle, associé à un ensemble de processus cognitifs. Par conséquent la contre rotation oculaire n'influe pas de manière linéaire et isolée notre perception de la verticale.

Mots-clés : Contre rotation oculaire, Verticale visuelle subjective, Vestibulaire, Otolithique, Verticale.

---

# ABSTRACT

---

Having a good perception of verticality is an essential element of which we don't have truly awareness every day. In vestibular reeducation, it is not uncommon to meet person with disorder of vertical perception and so with disorder of surrounding environment.

To assess the vertical perception in a patient, the subjective visual vertical (SVV) test remains a perfect one. Indeed, it allows to assess easily and quickly the vertical perception of a patient and at the same time explore the otolithic system of inner ear in charge of this perception. In parallel to this, and according to several studies, we know that the ocular counter rolling (OCR) reflex induced by the static head tilt, takes his major part origin of otolithic system. Therefore and knowing this, we have established a research protocol in order to identify an eventual correlation between the vertical perception and the ocular counter rolling.

After having enrolled and studied vertical perception and counter rolling of 57 healthy subjects (16 men and 27 women) aged 18 -71 years old, we have shown there was no linear correlation between the vertical deviation and the ocular counter rolling when the head is tilted of 30° to the left shoulder and to the right shoulder. This observation which as first seem might surprising, could be explained by the fact that vertical perception is the sum of integration of a set of vestibular, visual and proprioceptive information, associated with a set of cognitive processes. Consequently the ocular counter rolling does not affect out vertical perception individually and linearly.

Keywords: Ocular counter rolling, Subjective visual vertical, Otolith, vertical perception, vestibular.

# TABLE DES MATIÈRES

I.	<u>INTRODUCTION</u> .....	1
II.	<u>RAPPELS</u> .....	3
1.	Anatomie du système vestibulaire.....	3
2.	Physiologie du système vestibulaire.....	7
3.	Les différentes modalités de perception de la verticale .....	12
4.	Rappels des connaissances.....	13
III.	<u>METHODOLOGIE DE RECHERCHE</u> .....	15
1.	Population .....	15
2.	Matériels .....	16
3.	Déroulement de l'expérimentation.....	18
4.	Analyse statistique .....	22
IV.	<u>RÉSULTATS</u> .....	24
1.	Population.....	24
2.	Détection des valeurs aberrantes .....	24
3.	Distribution statistique.....	25
4.	Résultats préliminaires .....	25
5.	Corrélation entre la verticale visuelle subjective en situation de tête inclinée et l'amplitude de la contre rotation oculaire .....	26
6.	Evolution de la contre rotation oculaire en fonction de l'âge .....	27
7.	Evolution de la VVS et de la VVSSI en fonction de l'âge .....	27
V.	<u>DISCUSSION</u> .....	28
1.	Interprétation des résultats .....	28
2.	Limites et Biais relatifs à l'étude clinique.....	32
3.	Intérêt et perspectives de notre étude .....	34
VI.	<u>CONCLUSION</u> .....	36
VII.	<u>ANNEXES</u>	
VIII.	<u>GLOSSAIRE - ABRÉVIATIONS</u>	
IX.	<u>FICHES DE LECTURE</u>	
X.	<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	

---

# AVANT-PROPOS

---

Le présent mémoire que j'ai l'honneur de vous présenter a été rédigé en vue de l'obtention du diplôme d'état de Masso-Kinésithérapie.

Il fait suite à un stage d'un mois et demi réalisé au sein d'un cabinet de rééducation vestibulaire situé dans la ville de Lyon.

Il est le fruit d'un travail de toute une année, et aura pour objectif de vous présenter l'étude de recherche clinique que j'ai menée tout au long de l'année 2014-2015.

La rééducation des troubles de l'équilibre d'origine vestibulaire est une « spécialité » de la kinésithérapie encore peu répandue et représentée sur l'ensemble de la profession, mais pour autant pas moins enrichissante. Découverte lors de ce stage, la rééducation vestibulaire était pour moi un univers encore inconnu qui piquait ma curiosité.

J'ai été très vite conquis par cet aspect de la rééducation et c'est ce qui m'a amené à me lancer dans la réalisation de ce mémoire de recherche, ce mémoire étant la concrétisation du travail réalisé afin de devenir Masseur-Kinésithérapeute diplômé d'état.

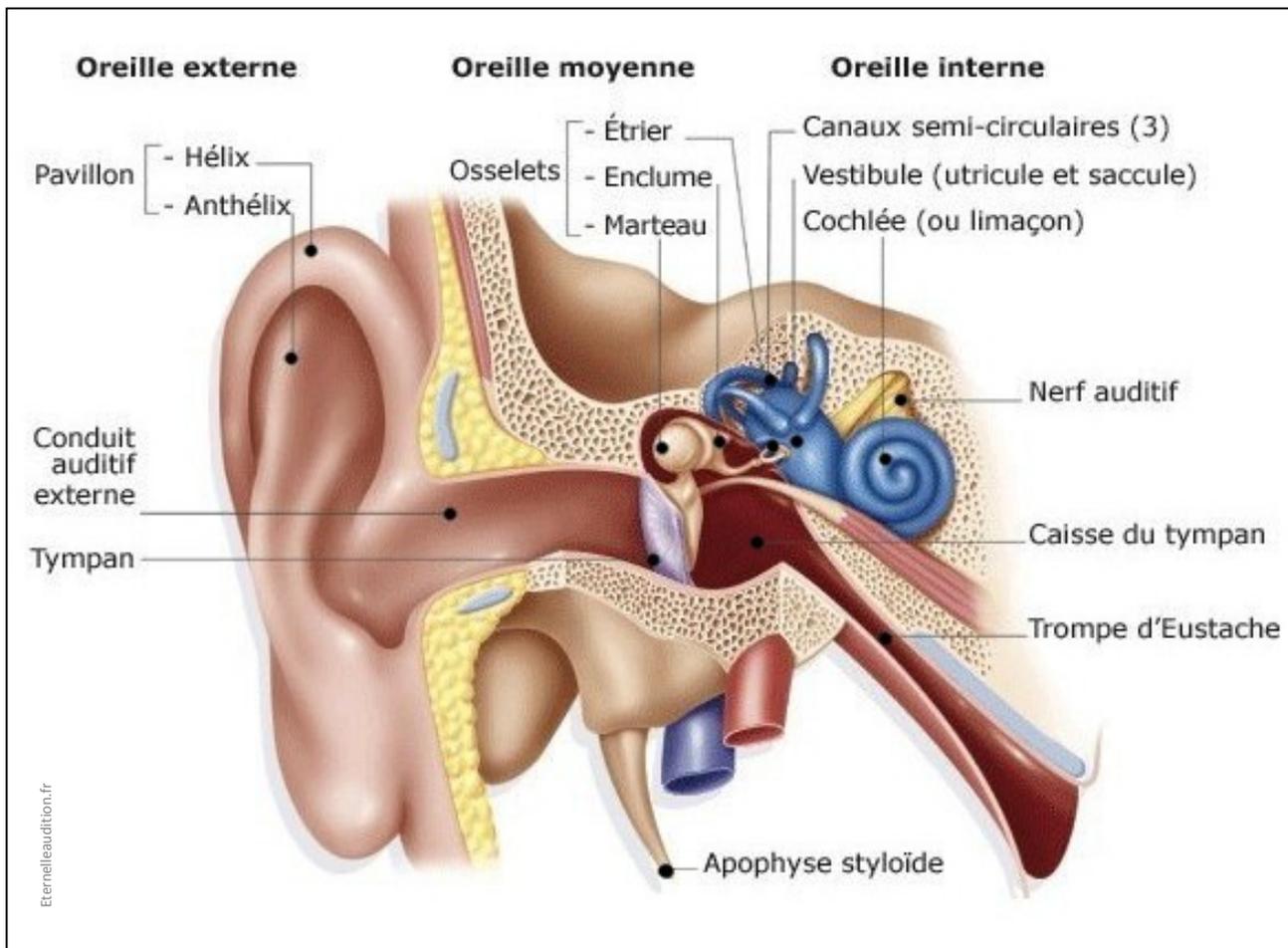


Fig.1 : Représentation schématique de l'oreille externe, moyenne et interne.

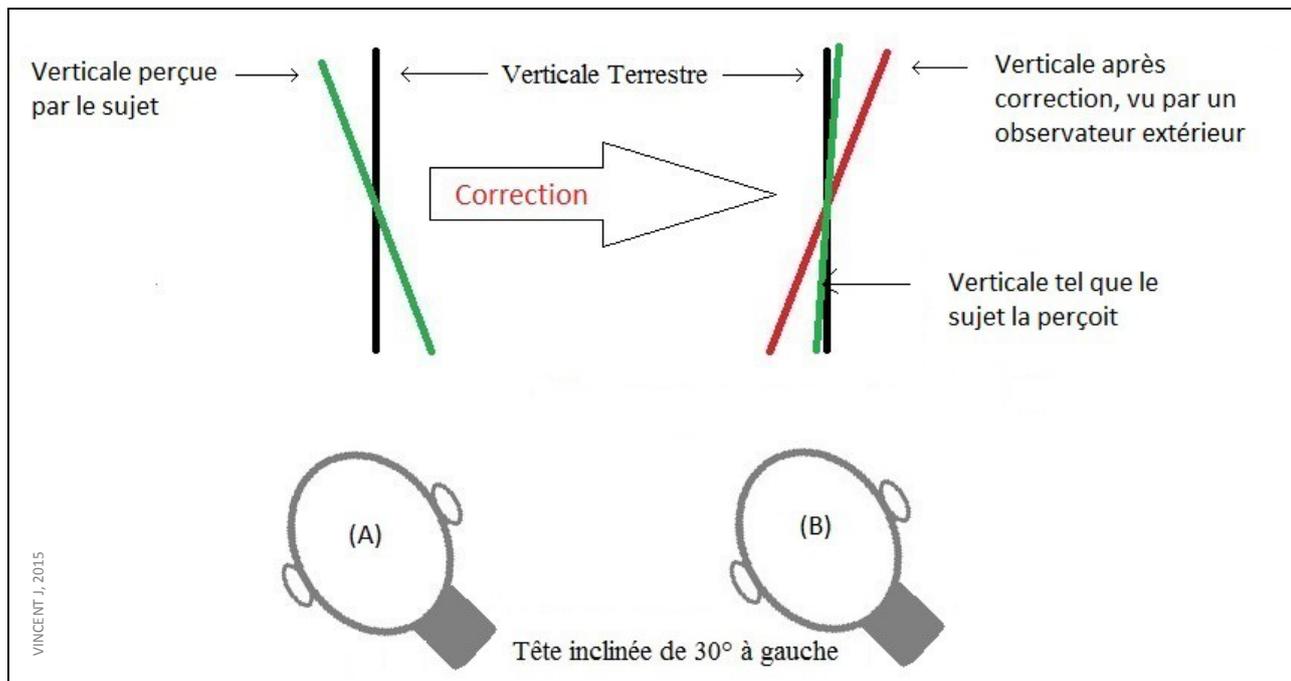


Fig.2 : Représentation de l'effet Muller lorsque la tête est inclinée à gauche de 30°. En (A) le patient perçoit la verticale comme étant inclinée à gauche ; (B) représente la déviation après correction.

## I. INTRODUCTION

Le système vestibulaire est un organe sensoriel au sein de l'oreille interne (fig.1) qui contribue à la sensation de mouvement ainsi qu'à l'équilibre et renseigne sur l'axe gravitationnel. Ce système formé par les canaux semi-circulaires et le système otolithique (utricle et saccule), a un rôle très essentiel dans l'équilibre et la perception de notre corps dans l'espace. Ce n'est que lorsque ce système dysfonctionne que son existence et son rôle se font ressentir. Parmi les troubles du système vestibulaire, on retrouvera la présence de vertiges qui peuvent être positionnels (dû à un changement position), de position (dû au maintien d'une certaine position) ou encore des vertiges déclenchés de manière aléatoire lors de périodes de crise aiguë comme dans la *maladie de Menière*. En plus de ces vertiges, suite à une dysfonction du système vestibulaire, les patients peuvent présenter des troubles de l'équilibre, une sensation d'instabilité, une impression d'ébriété ainsi qu'une mauvaise perception de la verticale et donc une perception erronée de l'environnement qui les entoure.

Dans ce mémoire nous nous intéresserons préférentiellement au système otolithique ainsi qu'à la perception de la verticale. La perception de la verticale peut être évaluée de différentes manières, malgré tout le test de choix pour l'évaluer, reste le test de la verticale visuelle subjective (VVS), test utilisé par de nombreux thérapeutes pour explorer la fonction otolithique (*Kingma, 2006*). En 1916, Georg Elias Müller a démontré que pour une inclinaison de la tête à gauche ou à droite inférieure à 60-70°, on observait lors du test de la VVS une déviation de la verticale du côté opposé à l'inclinaison de la tête ; c'est l'effet Muller (*Muller, 1916*). Cet effet s'explique par le fait qu'en situation d'inclinaison le sujet perçoit la verticale physique comme étant inclinée dans le sens de son inclinaison corporelle. Par conséquent le sujet va avoir tendance à corriger l'orientation de la verticale du côté opposé à son inclinaison corporelle (fig.2)

Lorsqu'on incline la tête, les yeux vont de manière réflexe compenser partiellement le mouvement d'inclinaison de la tête en tournant sur eux-même dans le sens opposé selon un axe antéro-postérieur.

Si l'on incline la tête à gauche, on va observer une *cyclotorsion* anti-horaire (pour définir le sens du *nystagmus* nous nous situons en tant qu'observateur) de l'œil qui après avoir atteint une certaine amplitude se transformera en *nystagmus* du fait de la nécessité d'une *saccade de recentrement* (fig.3). Cette *cyclotorsion* permet à l'œil de compenser partiellement les mouvements de la tête dans le plan frontal (*gain* compris entre 0,14 et 0,2), via une *cyclotorsion* pouvant aller jusqu'à 9° (*Chueng, 1991*).

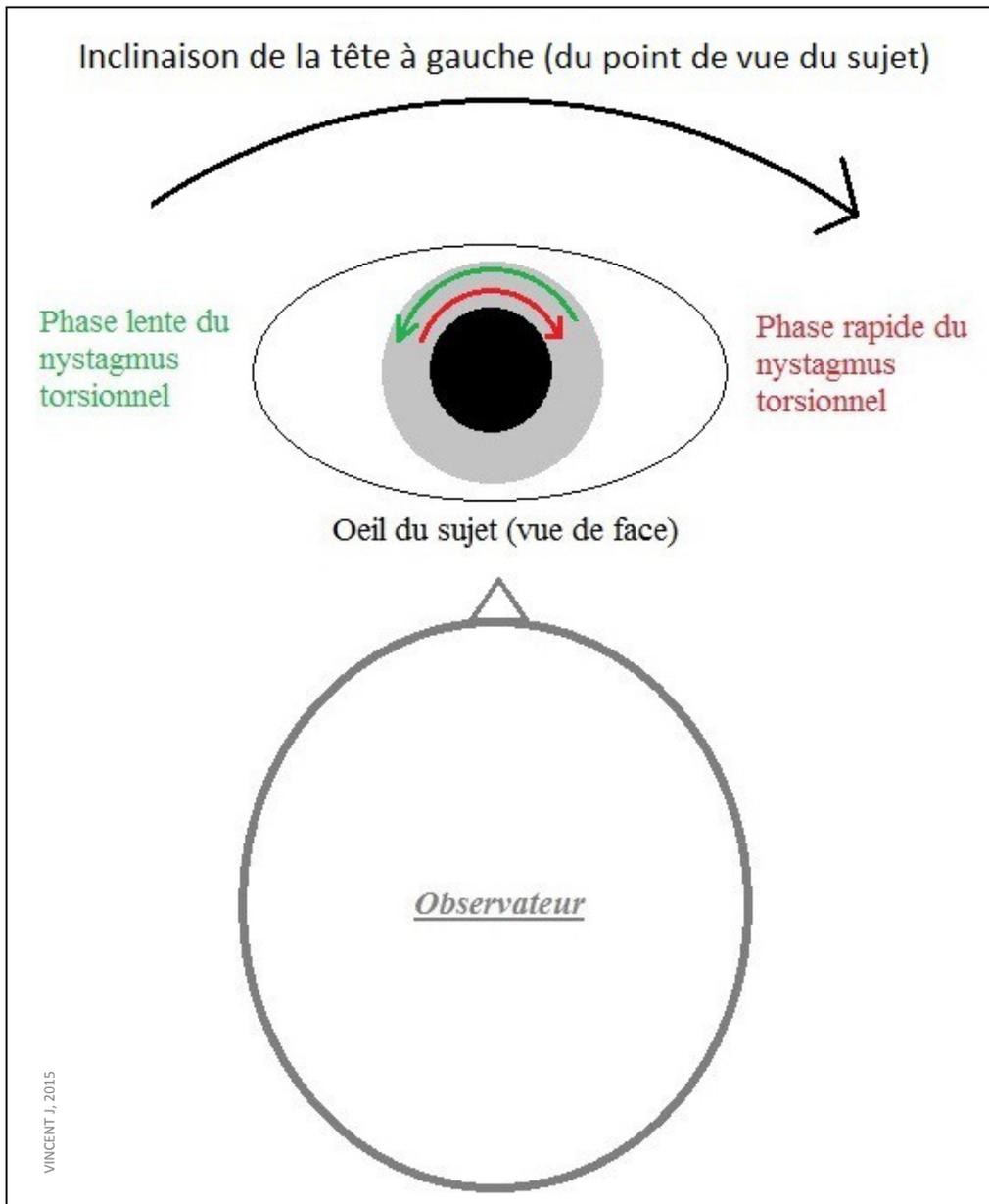


Fig.3 : Schéma représentant le nystagmus torsionnel d'un œil droit (vue de face).

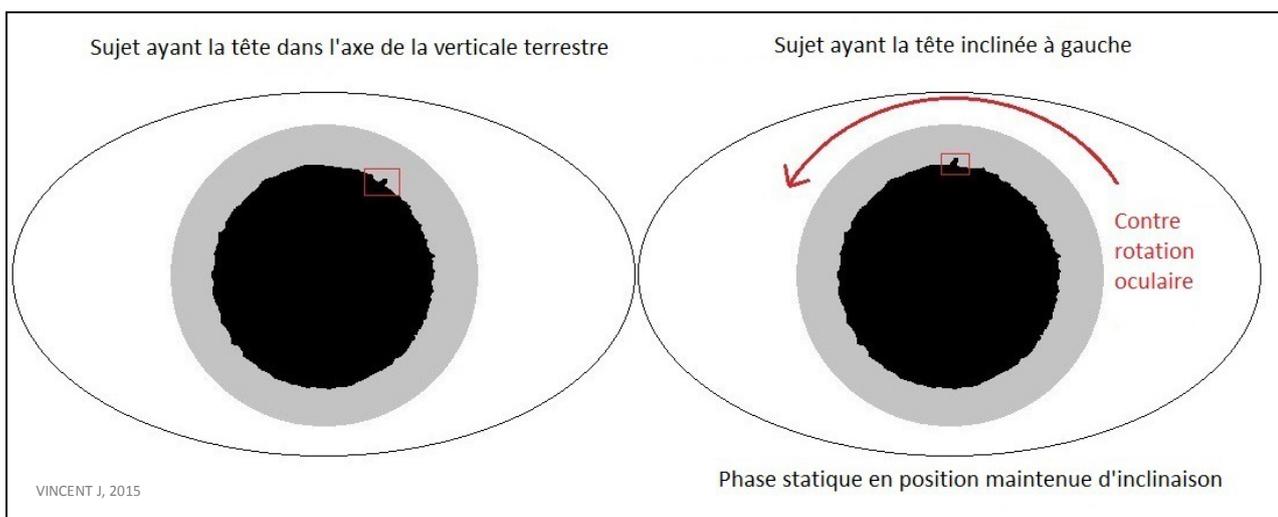


Fig.4 : Représentation du phénomène de contre rotation oculaire.

Si l'on maintient la tête en inclinaison, on remarque que l'œil reste en *cyclotorsion* donc « contre-roté » dans le sens inverse de l'inclinaison de la tête. Cette phase statique durant laquelle l'œil est en contre rotation (couter-rolling en anglais), est celle qui va nous intéresser dans la suite de ce mémoire (fig.4).

Lors de l'inclinaison de la tête, nous allons stimuler à la fois le système otolithique et à la fois le système canalaire de l'oreille interne. Lors de l'inclinaison de la tête, il faut distinguer deux phases. Une phase dynamique durant laquelle, nous allons emmener la tête vers l'épaule gauche ou droite et une phase statique où la position d'inclinaison va être maintenue. Durant la phase dynamique, le système canalaire et le système otolithique vont être stimulés, alors que durant la phase statique seul le système otolithique entre en jeu. Plus précisément lors de la phase dynamique le *nystagmus torsionnel* sera de 70% d'origine canalaire et de 30% d'origine otolithique alors que durant la phase statique, le maintien de la contre rotation sera 100 % d'origine otolithique (les canaux n'étant plus stimulés)(*De Graaf, 1996*).

Afin d'évaluer la fonction otolithique, il est possible de réaliser un certain nombre d'exams plus ou moins simples à réaliser (cf : Annexe 1). La fonction utriculaire peut être évaluée par le test OVAR « Off-Vertical Axis Rotation », le test DUC « Dynamic unilatéral centrifugation », la contre rotation oculaire ou encore le test de la verticale visuelle subjective (VVS). La fonction sacculaire quant à elle, peut être évaluée via les potentiels évoqués myogénique vestibulaire (*González, 2011 ; Wuyts, 2007*).

Cependant parmi tous ces tests seul le test de la VVS et l'évaluation de la CRO sont réalisables au sein d'un cabinet. En effet les autres tests nécessitent des moyens techniques très coûteux et sont donc difficilement réalisables par le thérapeute. Par conséquent en cabinet, pour explorer la fonction otolithique, on ne dispose que de deux moyens, qui sont le test de la VVS et l'évaluation de la CRO. Le fait que la VVS et la CRO (deux tests simples en apparence) permettent tous deux d'évaluer la fonction otolithique utriculaire, laissent supposer que la perception de la verticale soit corrélée à la contre rotation oculaire, et donc à la *cyclotorsion* d'origine otolithique.

Mon hypothèse est que la perception de la verticale dépend en partie de la contre rotation oculaire. Mon étude, aura donc pour objectif de répondre à la problématique suivante :

**« Existe-t-il une corrélation entre l'estimation de la verticale visuelle subjective et l'amplitude de la contre rotation oculaire lors de l'inclinaison de la tête ? »**

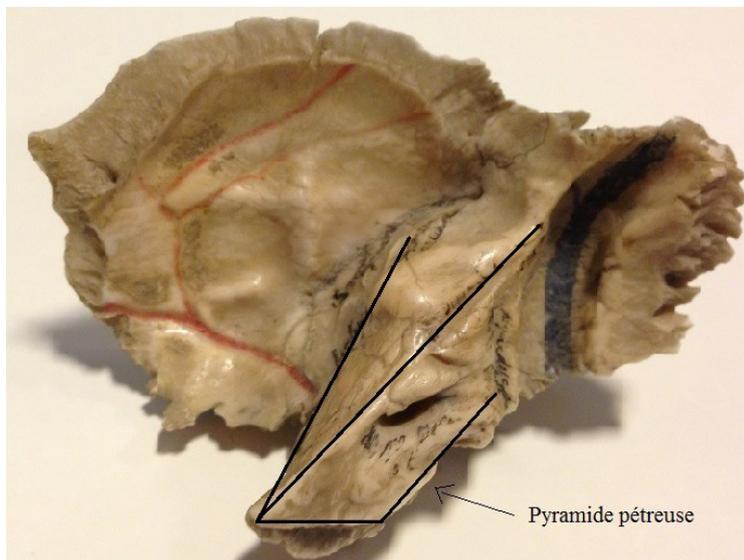


Fig.5 : Photo de la pyramide pétreuse de l'os temporal.

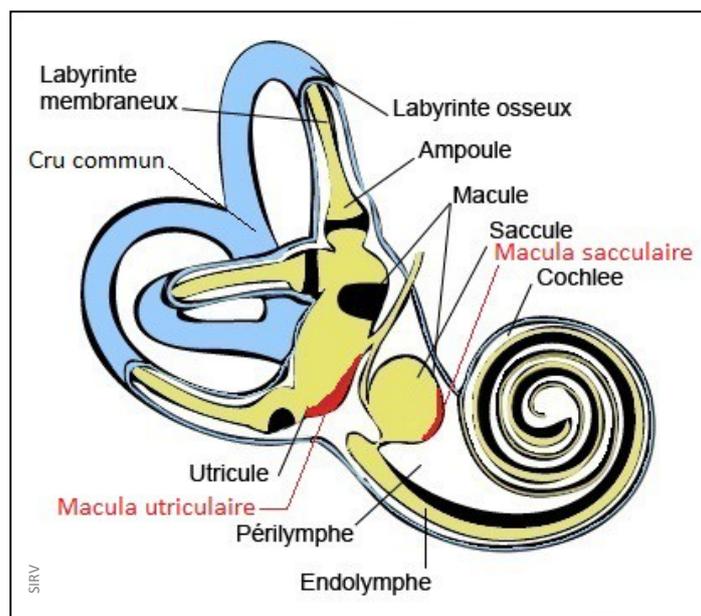


Fig.6 : Représentation de l'appareil vestibulaire.

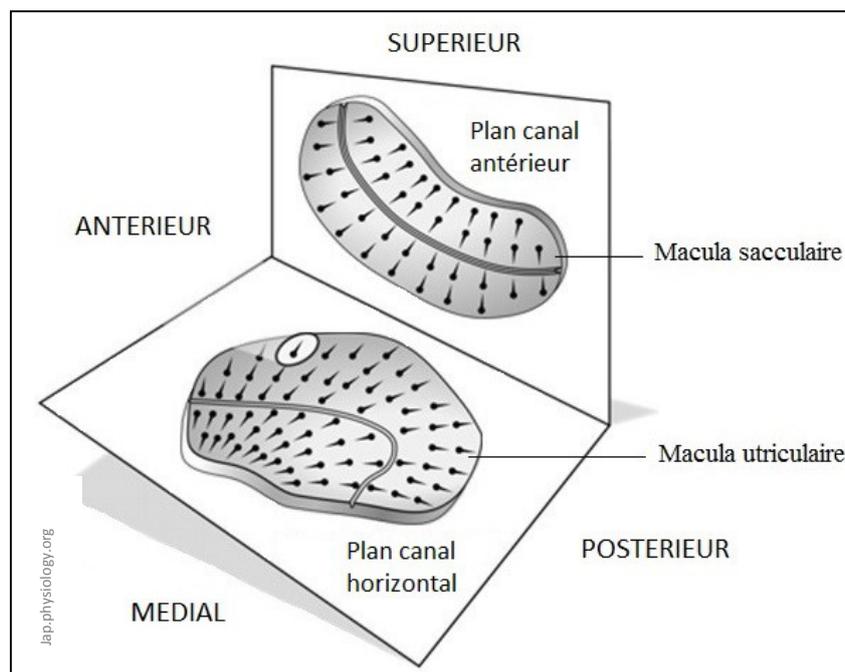


Fig.7 : Orientation des maculas otolithique de l'oreille interne droite.

## II. RAPPELS

### 1. Anatomie du système vestibulaire.

Le système vestibulaire responsable de l'équilibre est composé de deux structures anatomiquement et physiologiquement différentes. On a le système canalaire de l'oreille interne formé par les canaux semi-circulaires et le vestibule où l'on va retrouver le système otolithique formé par le saccule et l'utricule.

Le système vestibulaire se situe au sein du labyrinthe osseux de la pyramide pétreuse, située dans l'os temporal (fig.5). On aura au centre le vestibule, en arrière et en haut les canaux semi-circulaires et en avant du vestibule, la cochlée.

A l'intérieur même du labyrinthe osseux, on retrouvera le labyrinthe membraneux qui contient les organes sensoriels. Ils sont aux nombres de six (fig.6) :

- 3 capteurs ampullaires sensibles aux accélérations angulaires et situés au niveau des ampoules des trois canaux semi-circulaires.
- 2 capteurs maculaires sensibles aux accélérations linéaires situés au sein du vestibule, l'utricule et le saccule.
- L'organe de l'audition, dont on ne parlera pas ici.

#### 1.1. *Le système otolithique (le vestibule)*

Le système otolithique est formé par une structure postéro-supérieure appelée l'utricule et une structure antéro-inférieure appelée le saccule ; ces deux structures sont remplies d'*endolymphe*.

Au sein de l'utricule et du saccule on retrouvera les macules qui sont les capteurs sensoriels otolithiques. La macule utriculaire est disposée horizontalement à la partie inférieure de l'utricule, tandis que la macule sacculaire est disposée plus ou moins verticalement à la partie antéro-interne du saccule (fig.6).

La macule utriculaire se situe dans un plan parallèle à celui des canaux semi-circulaires horizontaux tandis que la macule sacculaire se situe dans un plan parallèle au plan du canal supérieur ipsilatéral (fig.7).

L'épithélium qui constitue la macule otolithique est composé de deux types de cellules, à savoir des cellules de soutien et des cellules ciliées.

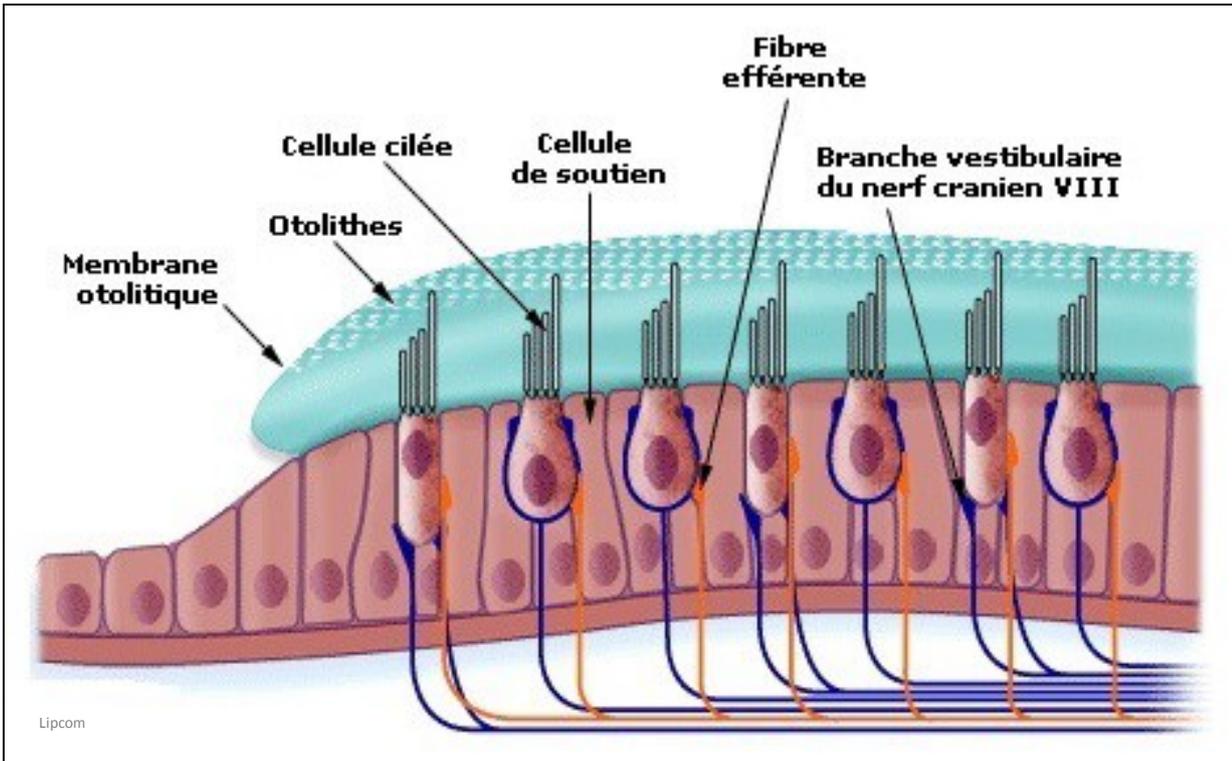


Fig.8 : Epithélium constituant la macule otolithique.

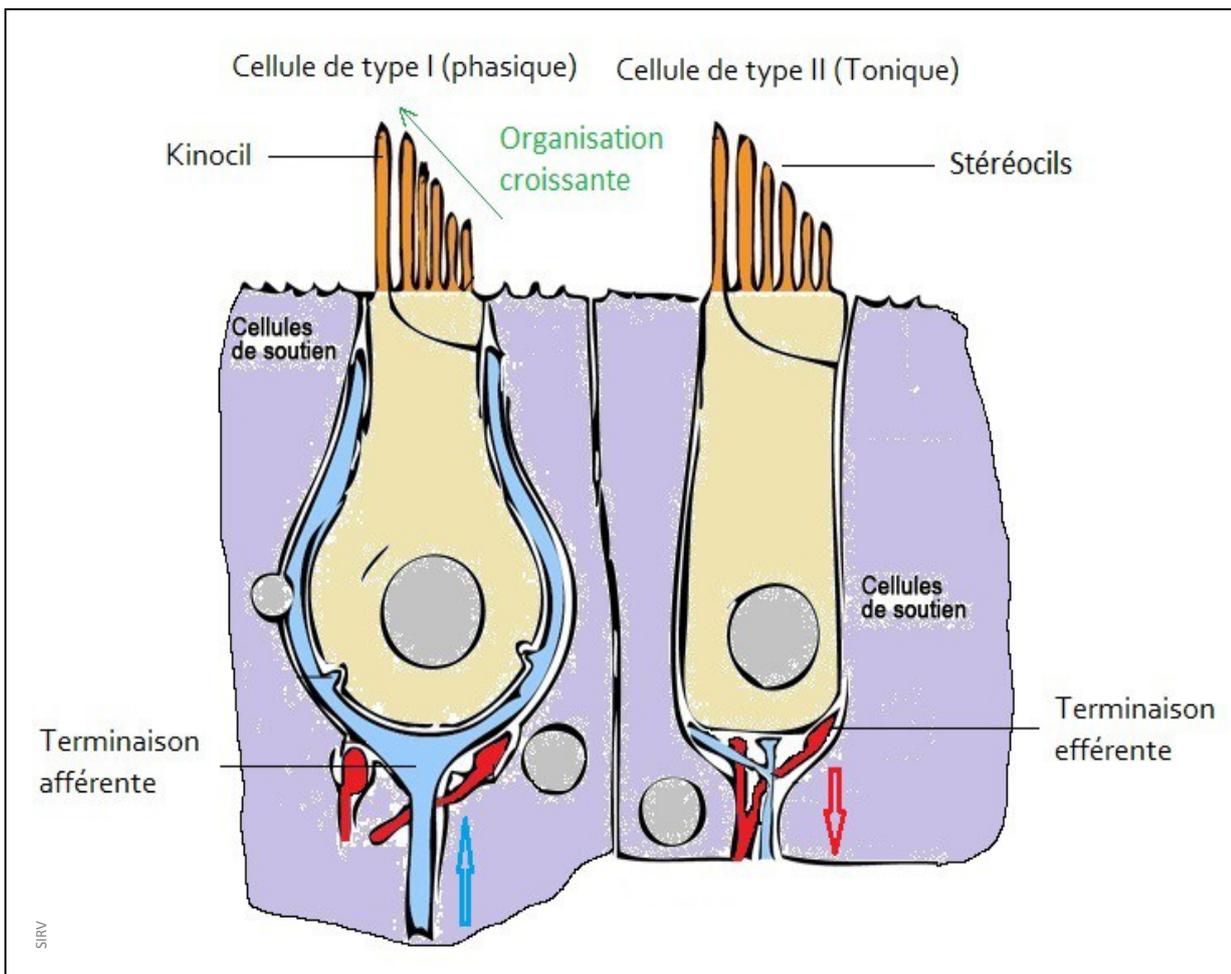


Fig.9 : Schéma représentant les deux types de cellules ciliées otolithiques.

Ces cellules ciliées sont recouvertes d'une membrane gélatineuse appelée membrane otoconiale ou otolithique (fig.8), constituée de cristaux de carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>) appelés otoconies ou otolithes.

### 1.3.1. Anatomie maculaire

Les macules utriculaires et sacculaires, sont des récepteurs constitués de cellules ciliées phasiques et toniques. Au niveau de ces macules, on retrouvera une ligne centrale virtuelle appelée « *la striola* » qui va découper la membrane otolithique en deux régions de surface égale. Au niveau utriculaire, les cellules ciliées seront disposées de telle manière que la polarisation des cellules sera dirigée vers la *striola* tandis qu'au niveau sacculaire la polarisation sera dirigée vers la périphérie. Pour simplifier, au niveau utriculaire, les *kinocils* des cellules se font face au niveau de la *striola*, alors qu'au niveau sacculaire, les *kinocils* des cellules ne se font pas face.

Enfin notons que les macules otolithiques ne sont pas réellement planes, notamment au niveau utriculaire où la partie antérieure se courbe vers le haut.

### 1.3.2. La cellule ciliée

La cellule ciliée est le capteur sensoriel du système otolithique, c'est un mécanorécepteur. A son pôle apical, on va retrouver un ensemble de cils (50 à 120 par cellule) appelé *stéréocils*, présentant un arrangement en « tuyau d'orgue » (*Goffinet, 1994*), c'est-à-dire rangé dans un ordre de taille croissant jusqu'au *kinocil* (le cil le plus long). Qu'elle soit de type I (phasique) ou de type II (tonique), son anatomie reste sensiblement la même, et seule sa physiologie et son mode de fonctionnement diffèrent (fig.9).

Les cellules phasiques sont des cellules qui détectent les mouvements rapides (haute fréquence), qui ne déchargent pas dans des conditions de repos et qui ne codent que lorsque les *stéréocils* se rapprochent du *kinocil* (aucune action inhibitrice quelles que soient les conditions) ; on les retrouvera à proximité de la *striola* au sein des macules.

Les cellules toniques quant à elles déchargent régulièrement au repos et codent pour de faibles accélérations, soit dans le sens excitateur en augmentant sa fréquence de décharge, soit dans le sens inhibiteur en diminuant sa fréquence ; on les retrouvera préférentiellement à la périphérie des macules otolithiques.

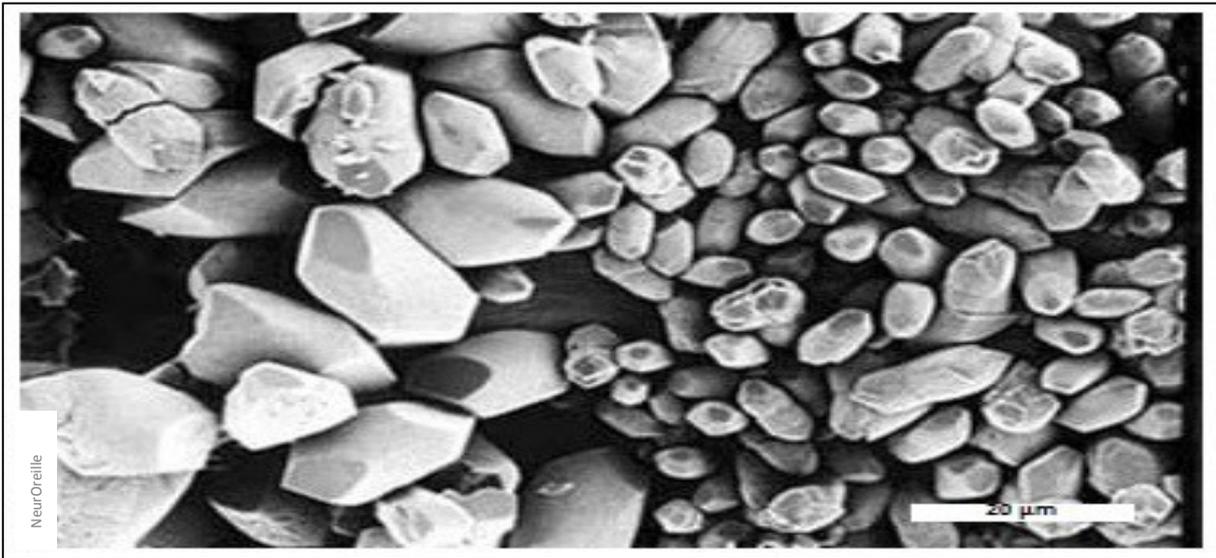


Fig.10 : Vue d'otolithe humaine au microscope à balayage.

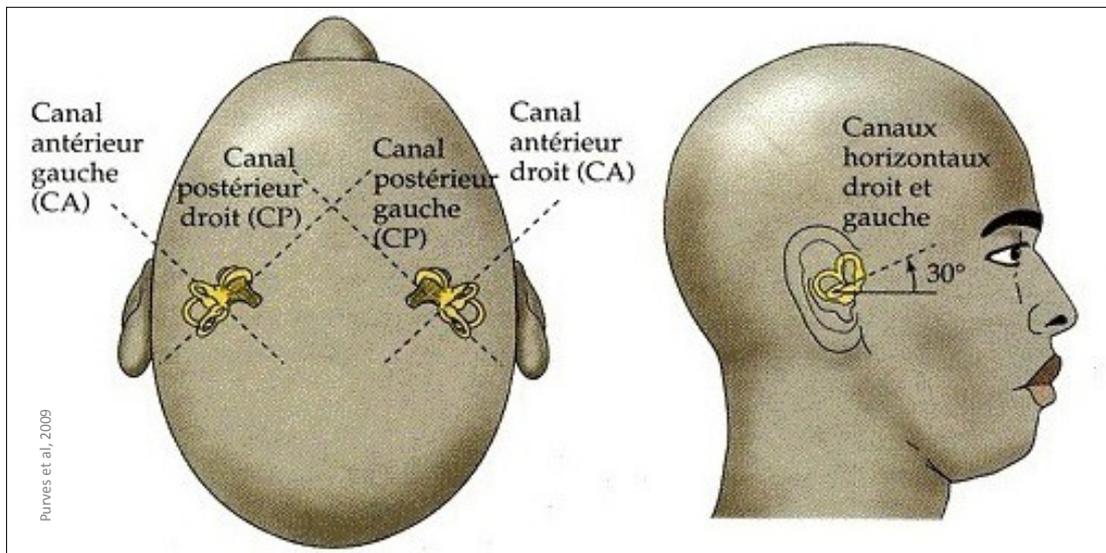


Fig.11 : Représentation des canaux semi-circulaire de l'oreille interne au sein de leurs plans respectifs.

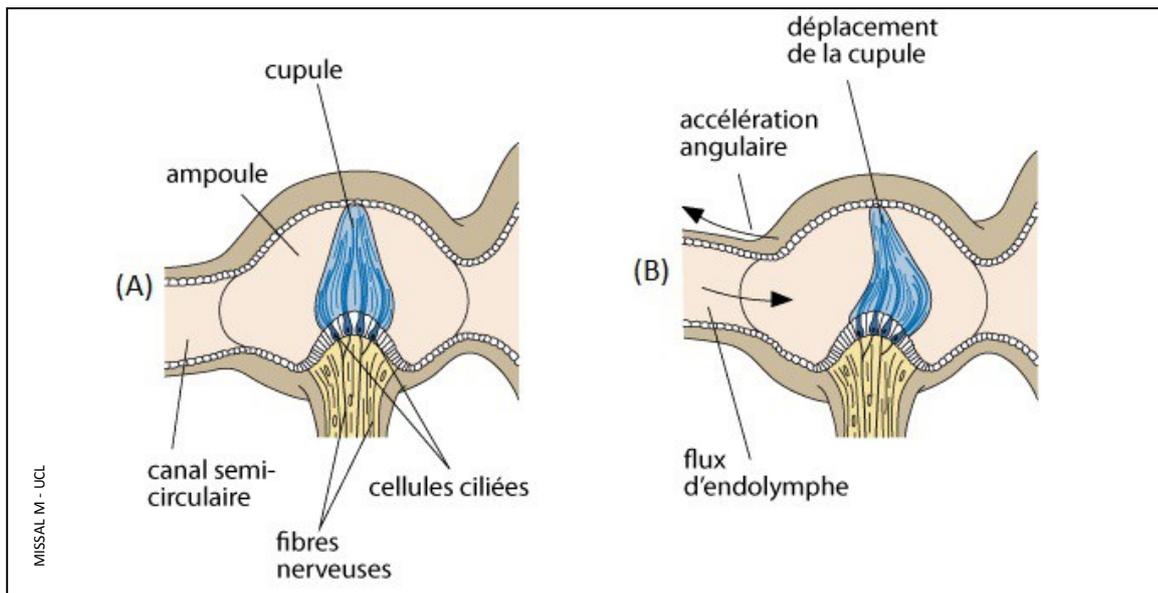


Fig.12 : Schéma d'une ampoule et de sa crête au repos (A), et suite à une accélération angulaire (B).

Enfin, actuellement on considère que l'utricule ne compte pas moins de 33000 à 36000 cellules ciliées (*Severinsen, 2010*), tandis que le saccule n'en compterait que 19000 (*Pérennou, 2013*).

### 1.3.3. Les otolithes (otoconies)

Les otoconies sont des petits cristaux de carbonate de calcium (fig.10) mesurant environs 3 à 20 $\mu$ m de diamètre (*Ganong, 2007*). Ces petits cristaux sont incorporés au sein d'une couche gélatineuse formant ainsi la membrane otolithique. Cette membrane engluée sur les cils des cellules ciliées aura pour rôle de lester les cils de manière à rendre ces cellules sensibles à la gravité. En effet les otoconies présentent une densité trois fois supérieures à celle du liquide endolympatique, et sont donc sensibles à la gravité.

De ce fait quelle que soit la position de la tête ou du corps, les otoconies ou par extension la membrane otoconiale seront toujours dirigées dans l'axe de la gravité.

### 1.2. Les canaux semi-circulaires

Les canaux semi-circulaires sont trois tubes creux remplis d'un liquide appelé l'*endolymphe*. Ils sont au nombre de trois, on a :

- Le canal antérieur ou supérieur situé dans un plan para-sagittal.
- Le canal postérieur situé lui aussi dans un plan para-sagittal.
- Le canal horizontal, latéral ou externe situé dans le plan para-horizontale. Ils sont situés dans un plan incliné de 30° vers l'arrière par rapport plan de Francfort. (fig.11).

Ces trois canaux sont grossièrement perpendiculaires entre eux et sont reliés à leurs deux extrémités à l'utricule (le canal antérieur et le canal postérieur se jettent au sein de la même ouverture dans l'utricule : c'est *le cru commun*) (fig.6 – vu précédemment).

Chaque canal présente à l'une de ses extrémités une dilatation appelée « ampoule » où l'on va retrouver la crête ampullaire. Cette crête ampullaire qui n'est autre que le capteur sensoriel, est composée de cellules ciliées sensorielles et de cellules de soutien et obstrue un tiers du canal. Les deux autres tiers de la lumière du canal étant obstrués par la cupule (fig.12).

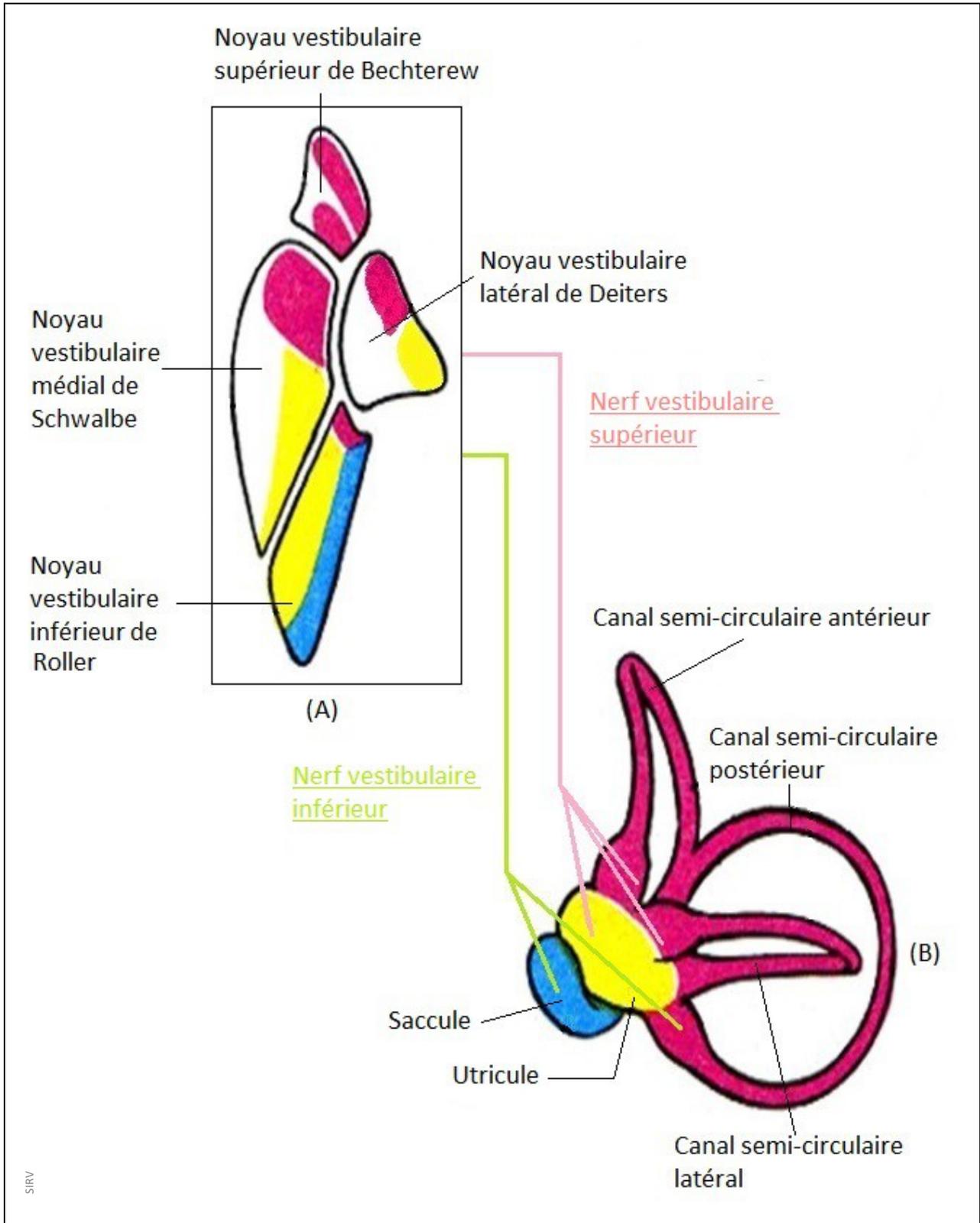


Fig.13 : Projections des nerfs vestibulaires issus du vestibule (B) sur le tronc cérébral(A).

### 1.3. *Neuro-anatomie du système vestibulaire*

#### 1.3.1. *Le système nerveux périphérique*

Au niveau de l'oreille interne on va retrouver les nerfs ampullaires, le nerf utriculaire, le nerf sacculaire et le nerf cochléaire. Ces nerfs sont issus du paquet acoustico-faciale, qui est formé par le nerf vestibulo-cochléaire (nerf crânien VIII), et le nerf facial (VII et VII bis). Le paquet acoustico-facial s'engage depuis sa partie intracrânienne dans la partie pétreuse de l'os temporal par le méat acoustique interne pour ensuite donner naissance aux différents nerfs.

Le nerf vestibulo-cochléaire, va donner le nerf cochléaire (dont on ne parlera pas), et le nerf vestibulaire qui va donner les branches suivantes :

- Le nerf vestibulaire supérieur qui innerve l'ampoule du canal antérieur, l'ampoule du canal latéral ainsi que l'utricule.
- Le nerf vestibulaire inférieur qui innerve l'ampoule du canal postérieur et le saccule.

#### 1.3.2. *Le système nerveux central*

Le système nerveux central vestibulaire, est formé par le cervelet vestibulaire, le cortex vestibulaire, ainsi que par quatre noyaux vestibulaires situés dans le plancher du IVème ventricule (fig.13).

- Le noyau vestibulaire supérieur de Bechterew
- Le noyau vestibulaire inférieur de Roller
- Le noyau vestibulaire médial de Schwalbe
- Le noyau vestibulaire latéral de Deiters

Les nerfs issus du vestibule vont venir se projeter sur ces noyaux vestibulaires (fig.13). En plus de recevoir des informations d'origine vestibulaire, les noyaux vestibulaires vont recevoir des informations sensorielles d'origines visuelle et proprioceptive ; ces noyaux sont de ce fait de véritables centres d'intégration sensori-moteur. Ces noyaux vont eux-mêmes se projeter sur d'autres noyaux qui sont les noyaux oculomoteurs et trochléens pour permettre la stabilisation du regard et sur certains noyaux de la moelle épinière pour permettre la stabilisation de la posture. Parallèlement à cela, les noyaux vestibulaires vont venir se projeter sur les deux thalamus qui vont relayer et intégrer les informations pour ensuite les transmettre à différentes zones du cortex cérébral.

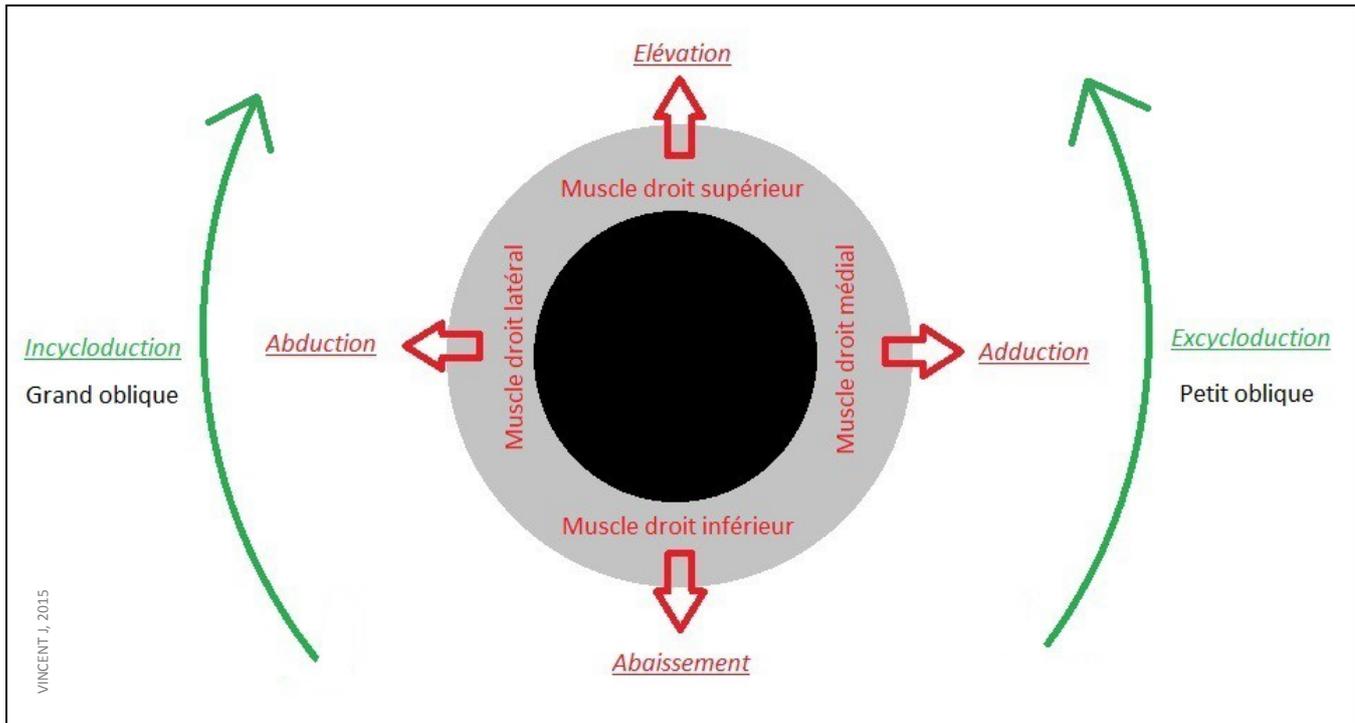


Fig.14 : Fonctionnement oculomoteur de l'œil droit.

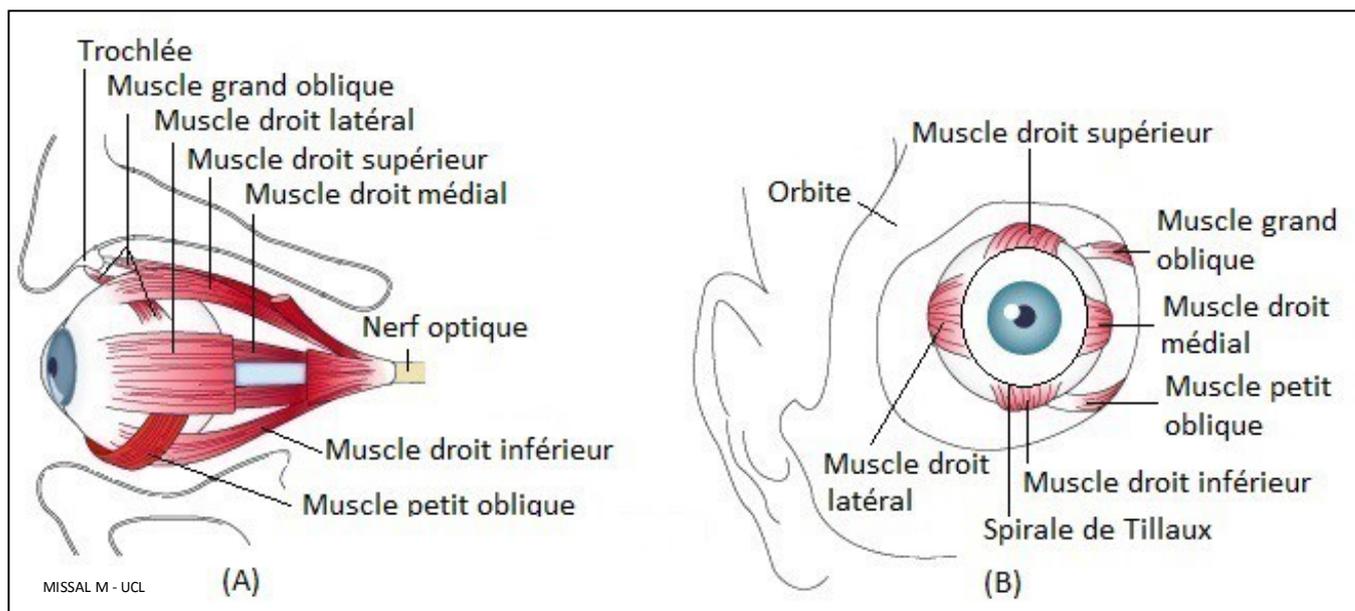


Fig.15 : Schéma représentant les différentes insertions musculaires sur un œil gauche (A) et sur un œil droit (B).

Nerfs	Muscles	Actions
Nerf oculomoteur	Droit supérieur	Elévation
	Droit inférieur	Abaissement
	Droit médial	Adduction
	Petit oblique	Excycloduction
Nerf trochléaire (IV)	Grand oblique	Incycloduction
Nerf abducens (VI)	Droit latéral	Abduction

Fig.16 : Innervations et actions des différents muscles oculomoteurs

## 1.4. Anatomie oculomotrice

### 1.3.1. Les muscles oculomoteurs

La fonction oculomotrice est réalisée par six muscles (fig.14):

- Le muscle droit supérieur (rectus superior), qui permet l'élévation de l'œil
- Le muscle droit inférieur (rectus inferior), qui permet l'abaissement de l'œil
- Le muscle droit latéral (rectus lateralis), qui permet l'abduction de l'œil
- Le muscle droit médial (rectus medialis), qui permet l'adduction de l'œil
- Le muscle grand oblique (obliquus superior), qui permet l'*incycloduction* de l'œil
- Le muscle petit oblique (obliquus inferior) qui permet l'*excycloduction* de l'œil

Ces muscles vont s'insérer sur la *sclérotique* de l'œil au niveau de « *la spirale de Tillaux* » puis vont se diriger pour la plupart en arrière de l'œil pour former le « tendon de Zinn » qui s'insère au fond de l'orbite. Seul le petit oblique ne se termine pas sur le tendon conjoint de Zinn ; il s'insère sur l'os maxillaire (fig.15).

### 1.3.2. L'innervation oculomotrice

Les muscles oculomoteurs sont innervés par trois nerfs crâniens qui sont :

- Le nerf III (nerf oculomoteur)
- Le nerf IV (nerf trochléaire)
- Le nerf VI (nerf abducens)

Ces nerfs crâniens issus du tronc cérébral et de leurs noyaux respectifs (oculomoteur, abducens, et trochléaire) vont se diriger vers les différents muscles qu'ils innervent (fig.16).

## 2. Physiologie du système vestibulaire

Comme vu précédemment, à l'intérieur des canaux semi-circulaires et du vestibule se trouvent des cellules ciliées. Ce sont elles qui vont capter les accélérations angulaires dans les ampoules des canaux semi-circulaires et les accélérations linéaires dans le vestibule.

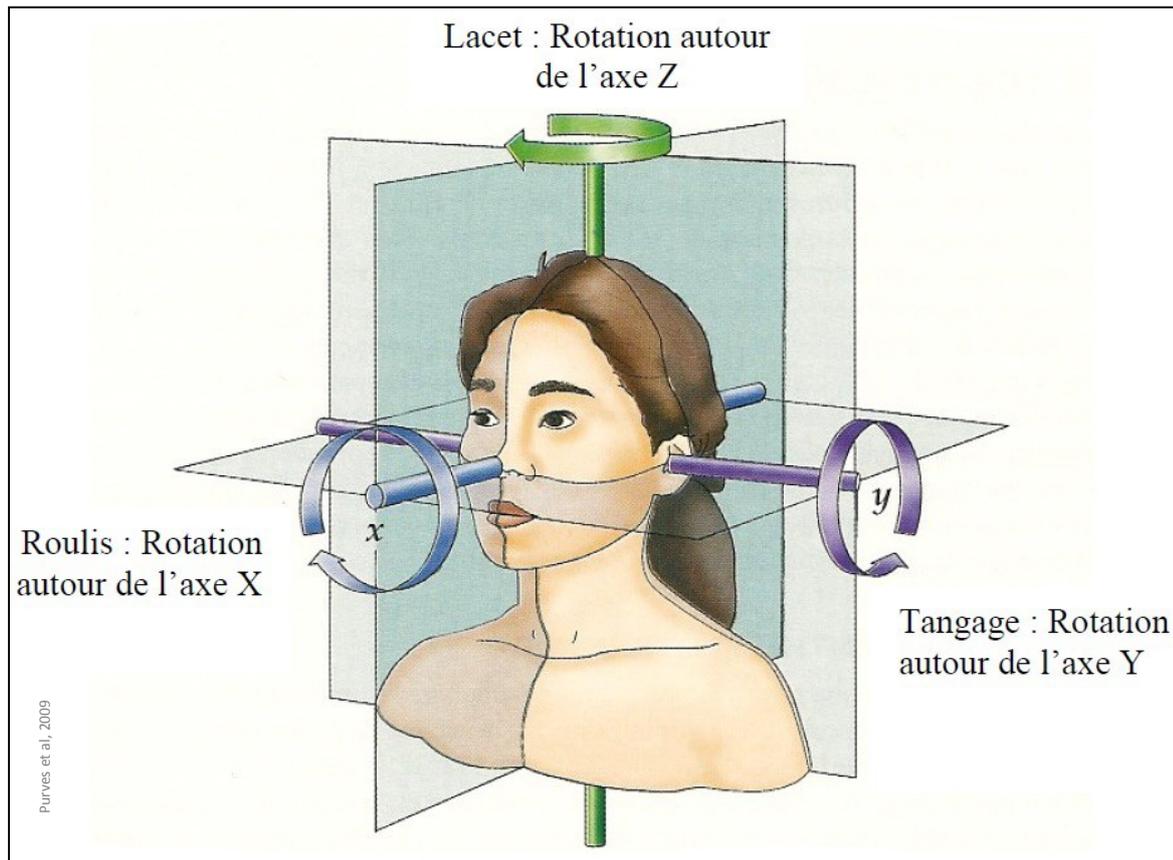


Fig.17 : Axes de mouvement de la tête dans les différents plans de l'espace

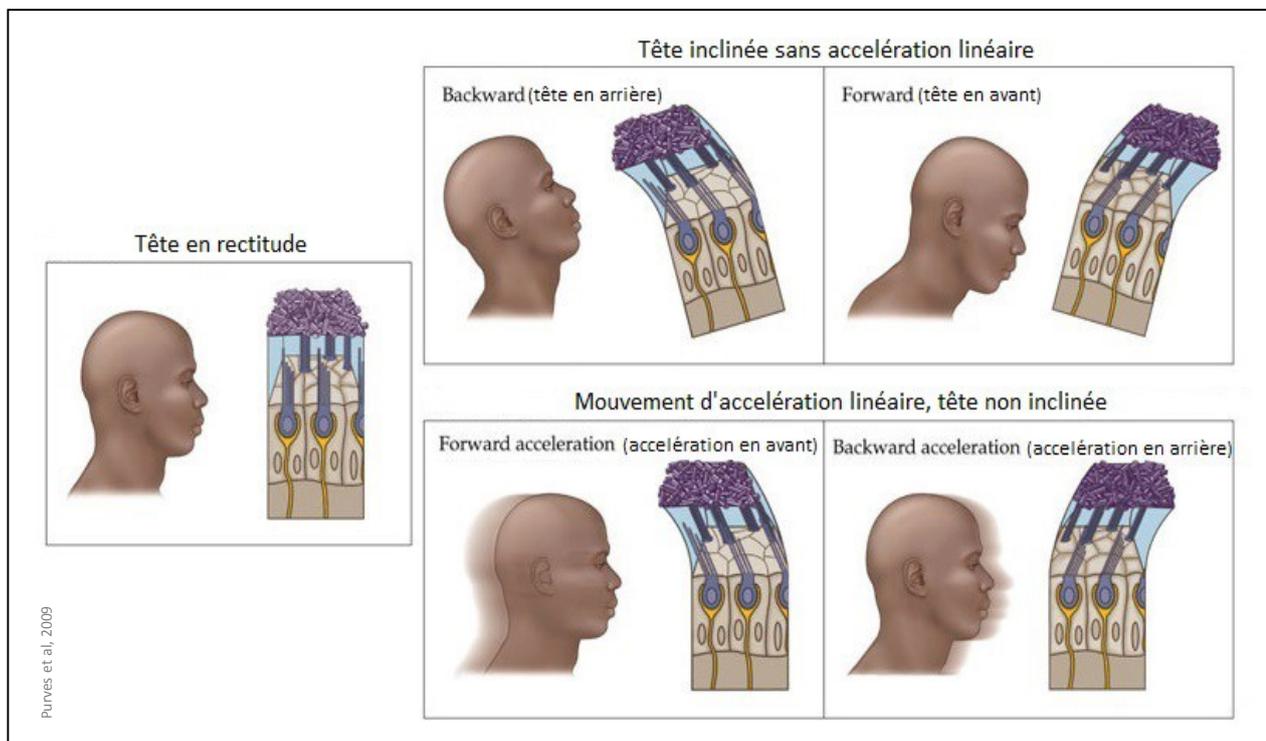


Fig.18 : Mouvements des cellules ciliées maculaire associés aux mouvements de la tête

## 2.1. *Fonctionnement du système otolithique*

### 1.3.3. *Principes de fonctionnement*

Le système otolithique est à la fois un *accéléromètre* linéaire qui va permettre au système nerveux central de connaître les mouvements de la tête et à la fois un capteur de position qui va permettre au corps de savoir dans quelle position se situe la tête (à l'arrêt du mouvement). On considère donc qu'il a deux rôles bien définis.

Le premier va être de renseigner le cerveau lorsque la tête effectue un mouvement de translation ou de rotation (faible implication des macules dans les mouvements de rotation). La tête a la possibilité d'effectuer des mouvements dans un espace à 6 degrés de liberté, c'est-à-dire qu'elle peut bouger soit en translation selon 3 plans (frontal, sagittal, et horizontal) soit en rotation selon trois axes (X, Y, et Z) (**Purves, 2011**). Les trois degrés de liberté concernant les rotations sont *le roulis*, *le tangage* et *le lacet* et se font selon trois axes bien définis qui sont, l'axe des X pour *le roulis*, l'axe des Y pour *le tangage*, l'axe des Z pour *le lacet* (**Paillard, 2010**). Les trois derniers degrés de liberté ne sont autres que les trois possibilités de mouvement de translation de la tête dans les trois plans de l'espace (fig.17).

Le deuxième rôle du système otolithique va être de renseigner le corps sur la position de la tête dans n'importe quel plan de l'espace à un instant T. On considère qu'en position verticale, un individu sain est capable de déterminer la position de sa tête par rapport à la verticale au demi-degré près (**Raymond, 2007**).

### 1.3.4. *Physiologie maculaire*

La structure des macules et leurs dispositions font, qu'elles ne se déforment pas si une force est appliquée perpendiculairement à leurs surfaces, alors que si la force est appliquée parallèlement, la déformation maculaire sera maximale. Lors d'un mouvement de la tête, les cellules ciliées de la macula otolithique vont suivre intégralement le mouvement de la tête, tandis que la masse otoconiale elle va tendre à rester dans l'axe de la gravité (**Wolfe, 2012**). C'est ce phénomène de cisaillement qui va incliner les cils des cellules sensorielles otolithiques et donc moduler leurs fréquences de décharge (fig.18). Ceci s'explique par le fait que la densité des otoconies est trois fois supérieure à celle du liquide endolymphatique.

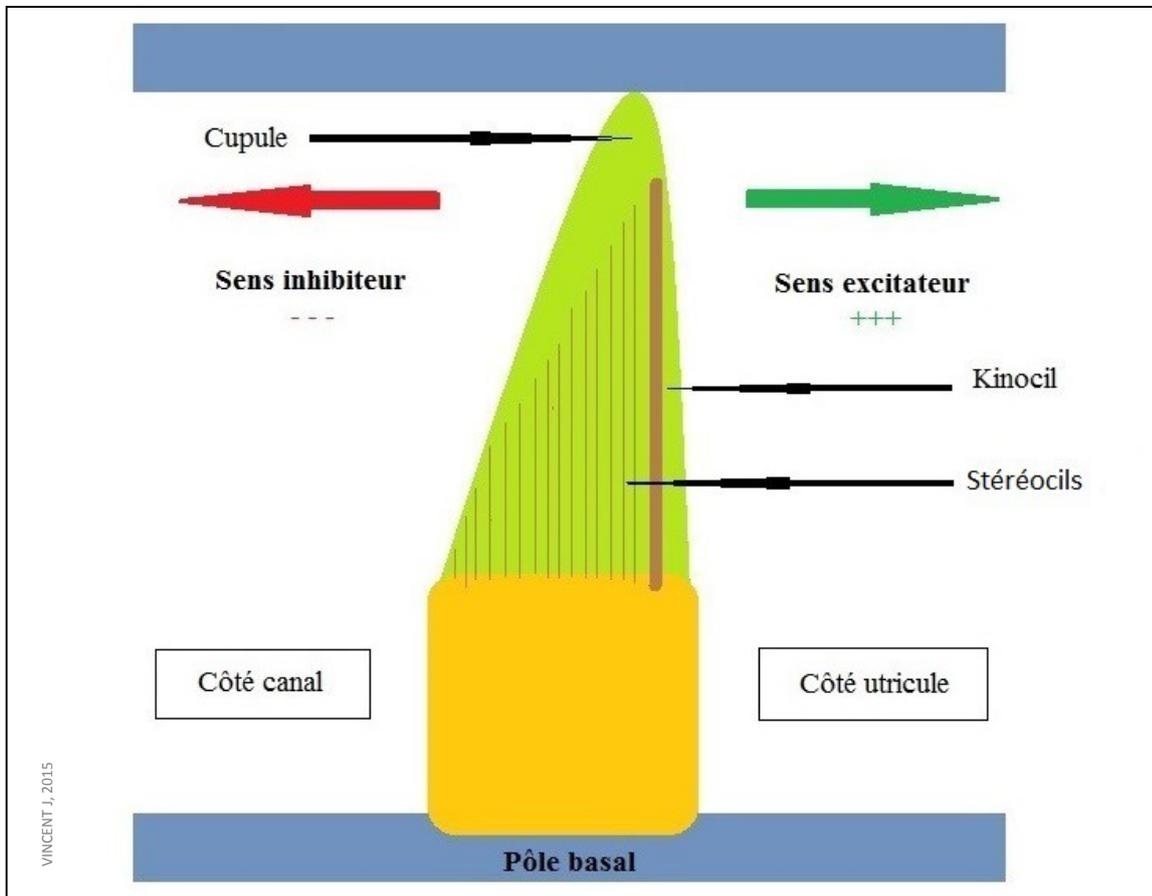


Fig.19 : Représentation d'une cellule ciliée canalaire et de son fonctionnement

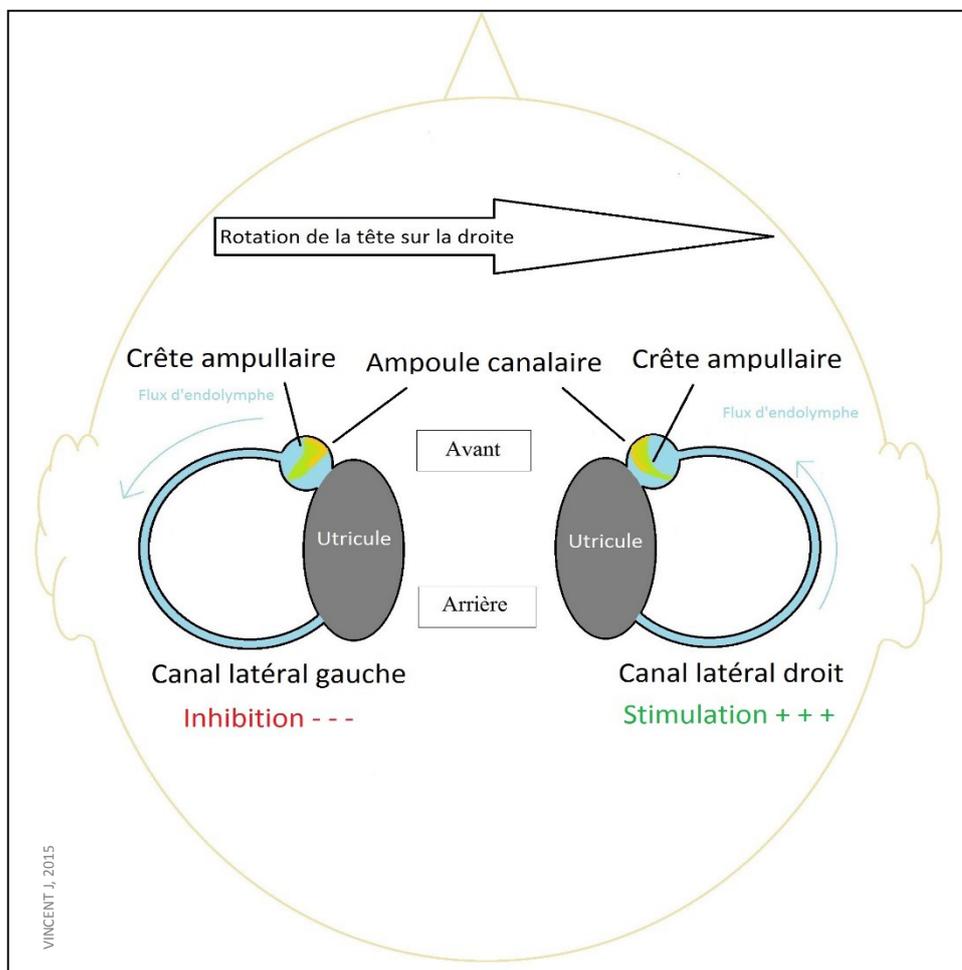


Fig.20 : Effet d'une rotation de la tête à droite sur les canaux semi-circulaires latéraux

Du fait de l'orientation de la macule utriculaire et de la macule sacculaire, on assimile grossièrement l'utricule à un accéléromètre horizontal et le saccule à un accéléromètre vertical. L'arrangement des cellules ciliées et la direction des *kinocils* au sein de la macula sont tels que quelle que soit la direction d'une accélération linéaire, il y aura toujours une partie des cellules ciliées qui seront stimulées.

Enfin lorsque la tête est en rectitude ce sont les 19 000 fibres sacculaires qui sont stimulées, tandis qu'en inclinaison ce sont près de 33 000 à 36 000 fibres utriculaires qui sont stimulées (**Barra, 2013**).

### 2.1. *Fonctionnement des canaux semi-circulaires*

La cellule ciliée est arrimée à l'*endoste* par son pôle basal où elle est connectée aux différentes fibres nerveuses. Chaque cellule possède à son apex un grand cil appelé *kinocil*, et à côté un ensemble de cils de taille décroissante (du *kinocil* vers l'extérieur).

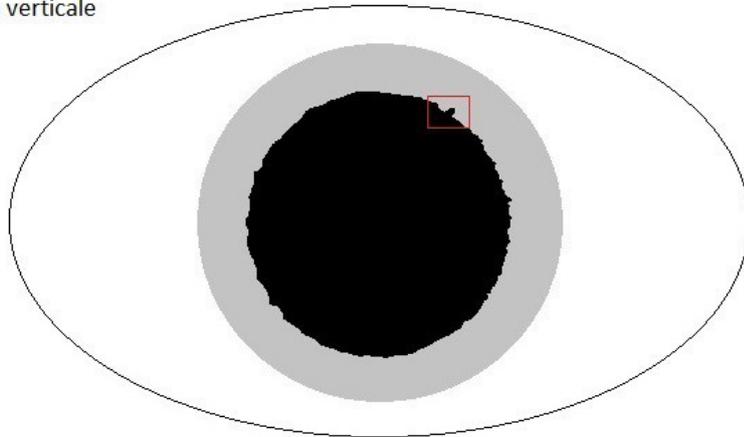
Si l'*endolymphe* pousse et rapproche les *stéréocils* vers le *kinocil*, on aura un effet exciteur, tandis que si les *stéréocils* s'éloignent du *kinocil*, on aura un effet inhibiteur (fig.19).

Notons que ceci n'est valable que pour les cellules toniques situées à la partie basale des crêtes ampullaires. En effet comme dit précédemment, la cellule phasique située à la partie apicale des crêtes ampullaires ne peut avoir d'effet inhibiteur.

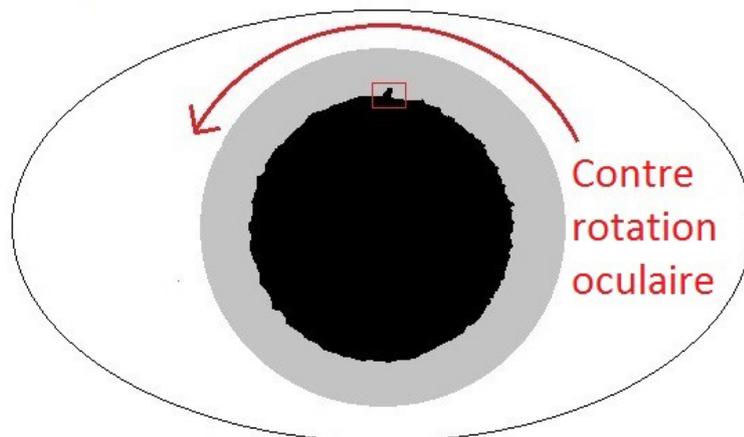
Nous allons prendre l'exemple d'un canal latéral gauche et d'un canal latéral droit (fig.20). Si on tourne la tête à droite, le flux d'*endolymphe* va se diriger vers l'ampoule du canal latéral droit, et on aura donc un *flux ampullipète*. La crête ampullaire surmontée de la cupule va alors se courber, entraînant par la même une courbure des *stéréocils* des cellules ciliées depuis les cils vers le *kinocil* et donc un effet exciteur. A l'inverse dans le canal latéral gauche, le flux d'*endolymphe* sera *ampullifuge*, et donc les *stéréocils* vont s'éloigner du *kinocil*, entraînant un effet inhibiteur. Ceci n'est pas valable pour les canaux verticaux, en effet au niveau de ces canaux c'est l'effet inverse qui se produit.

Pour résumer, on considère que les cupules des canaux semi-circulaires codent pour les mouvements d'accélération angulaire, dans le plan de leurs canaux respectifs et que les macules otolithiques codent à la fois pour les mouvements d'accélération linéaire et à la fois pour indiquer l'orientation de la tête par rapport à la verticale.

Sujet ayant la tête dans l'axe de la verticale



Sujet ayant la tête inclinée à gauche dans le plan frontal



Phase statique post-nystagmique durant laquelle la tête reste immobile

VINCENT J, 2015

Fig.21 : Représentation d'une cyclotorsion oculaire après inclinaison de la tête à gauche

## 2.2. *Le réflexe de contre rotation oculaire*

### 1.3.5. *Généralités*

La contre rotation oculaire est un phénomène d'origine otolithique et canalaire visant à compenser via un mouvement de *cyclotorsion* oculaire l'inclinaison de la tête.

Ce phénomène de compensation se déroule en deux phases :

- Une phase dynamique d'origine canalaire (70%) et otolithique (30%) durant laquelle on observera un *nystagmus torsionnel* (non détaillé dans la suite de ce mémoire).
- Une phase statique purement otolithique qui va permettre à l'œil de rester figé en contre rotation après l'arrêt du mouvement ; c'est la contre rotation oculaire.

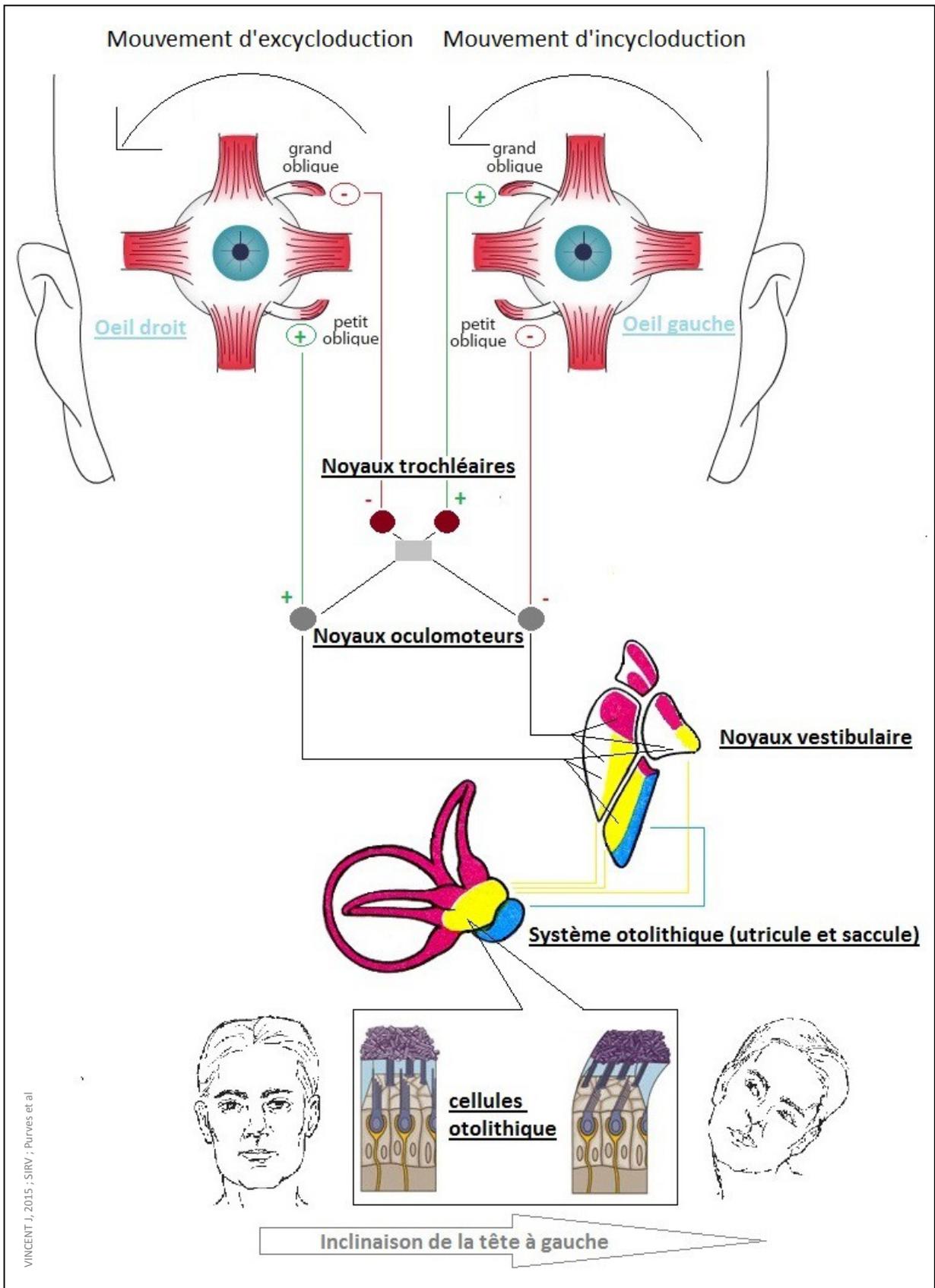
Lorsque l'on va incliner la tête à gauche ou à droite dans le plan frontal, l'œil va effectuer un mouvement de *cyclotorsion* opposé à celui de la tête de telle manière à compenser partiellement le mouvement de celle-ci.

Pour simplifier, si on se place en tant qu'observateur face à un individu, si cet individu incline la tête à gauche (à sa gauche) alors l'œil va tourner dans le sens opposé à savoir dans le sens anti-horaire (du point de vu de l'observateur) de manière à compenser l'inclinaison latérale de la tête (fig.21). La contre rotation oculaire est à la fois un phénomène dynamique et statique, par conséquent en phase dynamique on la considère comme un *nystagmus torsionnel* tandis qu'en phase statique on la considère comme étant un phénomène positionnel c'est-à-dire une prise de position de l'œil en phase statique à un instant T et dans une position P.

La contre rotation oculaire, peut donc se définir comme étant la *cyclotorsion* de l'œil faisant suite à l'inclinaison de la tête dans le plan frontal.

### 1.3.6. *Neuro-physiologie (voie vestibulo-oculomotrice)*

Comme dit précédemment, la contre rotation oculaire est précédée d'une phase dynamique au cours de laquelle on observe un *nystagmus torsionnel*. Dans la partie qui va suivre nous n'expliquerons pas ce phénomène dynamique qui relève en majeure partie du système canalaire de l'oreille interne, mais nous détaillerons le fonctionnement de la contre rotation, en expliquant ce qu'est la voie otolitho-oculaire.



VINCENT J, 2015 ; SIRV ; Purves et al

Fig.22: Schéma explicatif de la voie vestibulo oculomotrice responsable de la cyclotorsion oculaire après inclinaison de la tête à gauche.

La voie vestibulo-oculomotrice ou otolitho-oculaire (fig.22) représente l'ensemble des structures nerveuses responsables de la production et de l'acheminement de l'influx nerveux du système otolithique de l'oreille interne jusqu'aux muscles oculomoteurs responsables de la contre rotation. C'est en partie grâce à cette voie *vestibulo-oculaire*, que la *scène visuelle* va être stabilisée lors des mouvements de la tête dans le plan frontal (*Safin, 2000*).

Le réflexe vestibulo-oculomoteur ou otolitho-oculaire, est un réflexe qui va permettre à l'œil de rester contre roté lorsque la tête est inclinée. Tout d'abord suite à l'inclinaison, la membrane otolithique sous l'influence de la gravité va mobiliser les cils et donc stimuler les cellules ciliées au sein de la macula otolithique. Ces cellules vont de ce fait, se dépolariiser et entraîner la production d'influx nerveux, qui vont être acheminées via les fibres nerveuses afférentes jusqu'aux noyaux vestibulaires médial, latéral et inférieur (seul le noyau vestibulaire inférieur reçoit les afférences du saccule). Après que les informations nerveuses aient été traitées par ces noyaux, les messages nerveux vont être acheminés jusqu'aux noyaux responsables de l'oculomotricité. Au niveau oculomoteur, on retrouvera les noyaux oculomoteurs et trochléaires qui seront responsables de l'intégration des messages nerveux à destination de leurs muscles respectifs, le petits obliques et le grands obliques. Durant la contre rotation oculaire, il est important de noter que les muscles mobilisateurs du globe oculaire, vont être stimulés tandis que les muscles antagonistes aux mouvements vont être inhibés. Cela implique que si l'on incline la tête à gauche l'œil droit va effectuer un mouvement d'*excycloduction* grâce au muscle petit oblique qui sera stimulé tandis que son antagoniste le grand oblique sera inhibé. A l'inverse lors du même mouvement, l'œil gauche va effectuer un mouvement d'*incycloduction* grâce au muscle grand oblique, tandis que son antagoniste le petit oblique sera inhibé.

### 2.3. *Le réflexe cervico-oculaire*

Le réflexe cervico-oculaire est un réflexe déclenché suite à l'étirement des muscles du cou lors d'une rotation de la tête. Ce réflexe dont le *gain* est relativement faible ( $0,2^\circ$ ) traduit l'existence d'une information non vestibulaire mais proprioceptive fournie par des récepteurs situés au niveau des ligaments et des capsules articulaires cervicales sur les noyaux vestibulaires (*afférence* proprioceptive d'origine cervicale). Ce réflexe cervico oculaire associé à d'autres réflexes comme le *réflexe vestibulo-oculaire*, permettent de stabiliser le regard et la scène visuelle sur la rétine (*Kelders, 2003*).

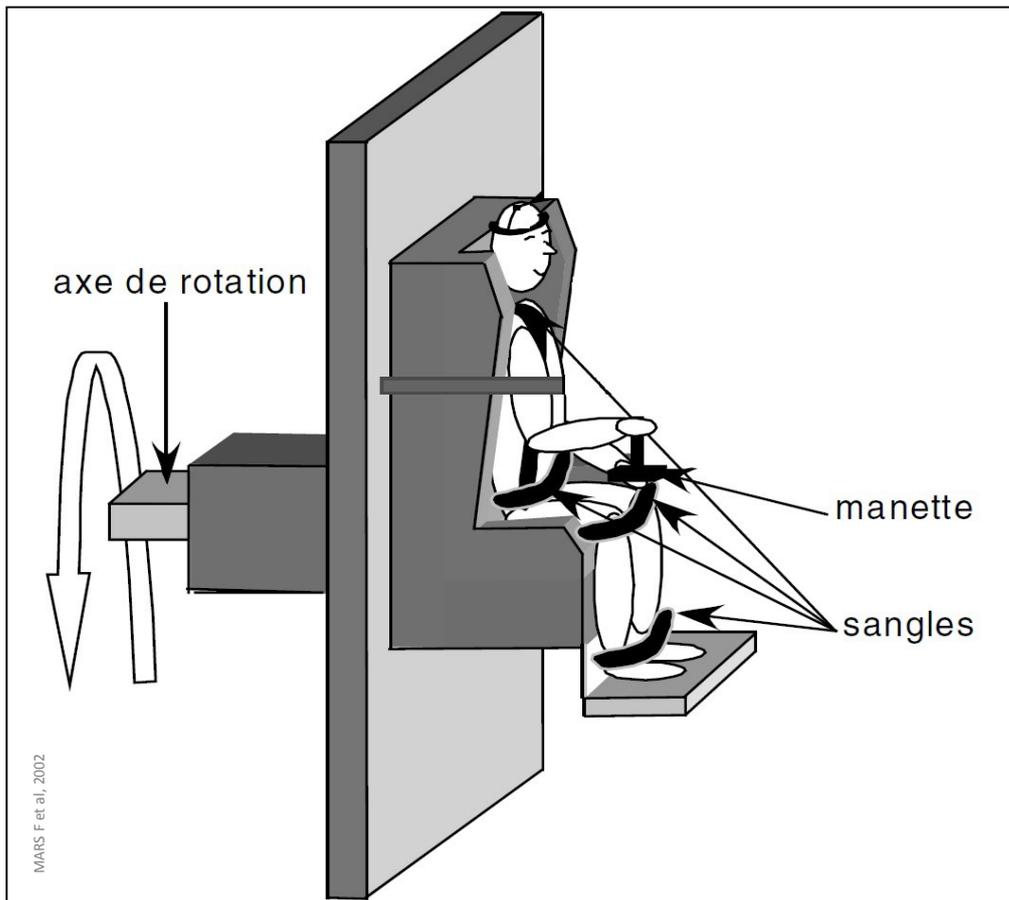


Fig.23 : Schéma représentant un sujet lors du test de la verticale posturale.

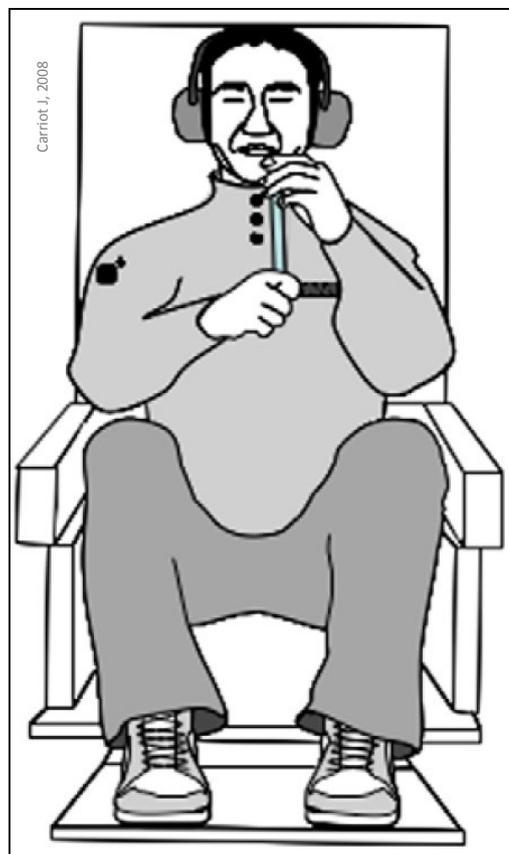


Fig.24 : Schéma représentant le test de la verticale subjective haptique

Il existe d'autres réflexes, comme le *réflexe vestibulo-oculaire* d'origine canalaire, le *réflexe optocinétique*, ou encore le *réflexe cervico-colique* mais ils ne seront pas traités au cours de ces rappels (cf : Glossaire).

### 3. Les différentes modalités de perception de la verticale

#### 3.1. *La verticale visuelle subjective*

Le test de la verticale visuelle subjective, est le test de référence pour évaluer la perception de la verticale. Les modalités du test sont simples, le sujet est placé assis ou debout dans une salle obscure et doit estimer la verticalité d'une droite, soit sous forme d'un laser projeté sur un écran, soit sous la forme d'une baguette lumineuse. La littérature rapporte l'existence de différentes normes, cependant une majorité d'auteurs s'accordent sur le fait que la marge d'erreurs chez un sujet sain est comprise entre  $-2^\circ$  et  $+2^\circ$  (**Akin, 2009 ; Bohmer, 1999**), tandis que chez un sujet pathologique, les erreurs d'estimation peuvent dépasser les  $10^\circ$  (**Toupet, 2014**).

#### 3.2. *La verticale posturale*

La verticale posturale (fig.23), peut se définir comme la position que prend spontanément et sans contrainte le corps par rapport aux forces environnementales (**Luyat, 1997**). Le test de la verticale posturale peut se réaliser de plusieurs manières, cependant l'objectif reste le même, à savoir positionner son corps dans l'axe de la verticale terrestre (soit dans le plan frontal, soit dans le plan sagittal), sans information visuelle. Il permet d'évaluer non pas le système vestibulaire mais la somato-sensorialité (proprioception) du patient (**Bonan, 2012**). Tout comme la verticale visuelle subjective, la marge d'erreur lors de l'estimation de la verticale posturale est comprise entre  $-2^\circ$  et  $+2^\circ$  (**Akin, 2009 ; Bohmer, 1999**). Selon une étude menée par **Bisdorff et al** en **1996**, il semblerait que la verticale posturale ne soit pas perturbée après lésions vestibulaires.

#### 3.3. *La verticale subjective haptique*

Le test de la verticale subjective haptique (fig.24), consiste à demander au patient de positionner avec sa main une baguette lumineuse dans l'axe de la verticale gravitaire. Ce test s'avère être moins précis (**Bonan, 2012**) avec une marge d'erreur comprise entre  $-5^\circ$  et  $+5^\circ$  (**Fourneau**).

#### 4. Rappels des connaissances

##### 4.1. *La contre rotation oculaire*

La contre rotation oculaire (CRO) est un réflexe secondaire à une inclinaison de la tête ou du corps qui reflète directement la fonction du système otolithique (**Diamond, 1983 ; Floris, 2007**). Cette CRO est extrêmement sensible à la force de gravité puisque que comme l'a montré une étude, l'amplitude de la CRO diminue d'environ 75% lors de vols paraboliques en situation de micro gravité (**Cheung, 1992**). Parallèlement à cela, une étude a montré qu'un cours séjour dans l'espace ne modifie pas la CRO une fois revenu sur Terre alors que la perception du corps, est perturbée lors du retour sur Terre (**Clément, 2007**). On sait que la CRO augmente avec l'inclinaison de la tête et que son gain quant à lui n'augmente pas mais diminue avec l'inclinaison (on constate un *gain* d'environ 0,20 pour 10 à 20° d'inclinaison, contre un *gain* moyen de 0,17 pour 30 à 45° d'inclinaison), et que par conséquent la CRO n'augmente pas proportionnellement avec l'augmentation l'inclinaison (**Schworm, 2002 ; Diamond, 1983**).

Il semblerait que la contre rotation oculaire puisse être plus élevée lorsque la tête est inclinée à droite qu'à gauche (**Schworm, 2002**). Une des hypothèses est que physiologiquement, il existerait une asymétrie otolithique entre les deux utricules, caractérisée par une différence de masse otoconiale qui serait compensée naturellement par le cerveau chez toutes les personnes saines (**Nooij, 2010**). On sait aussi que si l'on enchaîne une série d'inclinaisons à droite et à gauche, l'œil ne revient pas spontanément dans sa position initiale, mais reste contre roté dans le sens inverse de l'inclinaison, c'est la « torsion oculaire résiduelle » (**Palla, 2005**). Il n'a pas été démontré que la contre rotation oculaire, diminuait significativement avec l'âge (même si on constate que la CRO a tendance à diminuer avec l'âge), cependant il a été démontré que la diminution du *gain* de la contre rotation oculaire par décennie, est deux fois plus élevée chez la femme que chez l'homme en vieillissant (**Serrador, 2009**). Selon une étude menée par **Goltz** en **2009**, il a été démontré que la CRO ne dépend pas du stimulus visuel, à savoir si c'est un stimulus simple type point rouge ou complexe (une image par exemple). Selon cette même étude, la distance du stimulus quant à lui aurait un impact significatif sur la CRO, puisque l'on constate une CRO plus élevée quand le stimulus est lointain (à partir d'un mètre). Une étude a montré que la CRO n'avait pas la même valeur pour l'œil gauche et l'œil droit lors de l'inclinaison de la tête. En effet lorsque l'on incline la tête, la CRO de l'œil supra-latéral (l'œil controlatéral) à l'inclinaison est plus importante que la CRO de l'œil infra-latéral (l'œil près de l'épaule) (**Pansell, 2003**).

#### 4.2. *La verticale visuelle subjective*

La verticale visuelle subjective permet d'évaluer la perception de la verticale d'un individu. Lorsque l'on incline la tête, on constate une déviation de la verticale (3-6° en moyenne) du côté opposé à l'inclinaison de la tête, c'est l'effet Muller (si inclinaison de la tête inférieure à 60-70°). On sait aussi que cet effet Muller peut être supprimé si l'inclinaison de la tête et la position de départ du laser lumineux sont parallèles. Dans ces conditions on retrouve une déviation de la verticale non significativement différente de zéro (*Hoppenbrouwers, 2004*). Parallèlement à cet effet Muller (E-effect), il existe un effet Aubert (A-effect) qui pour une inclinaison corporelle supérieure à 70-80° entraîne une déviation de la verticale du côté homolatéral à l'inclinaison corporelle (*Delorme, 2003*).

Une étude a montré que la perception de la verticale était fortement perturbée suite à une lésion vestibulaire unilatérale de type *neurotomie* (*Lopez, 2007*). On constate une déviation de la verticale (tête en rectitude) de  $7,6^\circ \pm 1,6^\circ$  du côté de la lésion vestibulaire (une déviation supérieure à  $\pm 2^\circ$  étant considérée comme pathologique). D'après cette même étude, la déviation de la verticale chez ces sujets serait significativement identique à celle des sujets sains un an après la lésion ( $0,4^\circ \pm 1,6^\circ$ ), ce qui implique qu'un certain nombre de compensations s'est mise en place après la *neurotomie*. Enfin il semblerait que lors d'une atteinte vestibulaire périphérique bilatérale, la perception de la verticale ne soit pas perturbée, tandis qu'après une atteinte neurologique centrale de type AVC, il apparaît que la perception de la verticale soit drastiquement perturbée. Une étude (*Yelnik, 2002*) a montré que la verticale visuelle subjective (tête en rectitude) d'un certain nombre de patients ayant récemment eu un AVC (déviations respectives de  $1,6^\circ$  et  $-2,3^\circ$  lors d'un AVC gauche et droite), était fortement déviée comparée à celle d'individus sains.

De plus les auteurs ont montré que si la tête était inclinée du côté controlatéral à l'hémiplégie (donc du côté de la lésion cérébrale) alors l'effet Muller disparaissait et la déviation de la verticale n'était pas significativement différente de celle tête en rectitude. Une autre étude a étudié et comparé la perception de la verticale de sujets sains, hémiparalysés et paraplégiques et a montré que les informations somato-sensorielles avaient un rôle capital dans la perception de la verticale. En parallèle, ils ont constaté que l'insula et la région postéro latérale du thalamus avaient un rôle clé dans l'élaboration et la construction du sens de verticalité (*Barra, 2010*).

Enfin il semblerait que la perception de la verticale visuelle subjective ne semble pas altérée par l'âge, en effet une étude a montré que la perception de la verticale ne variait pas significativement en vieillissant (*Kobayashi, 2002*).

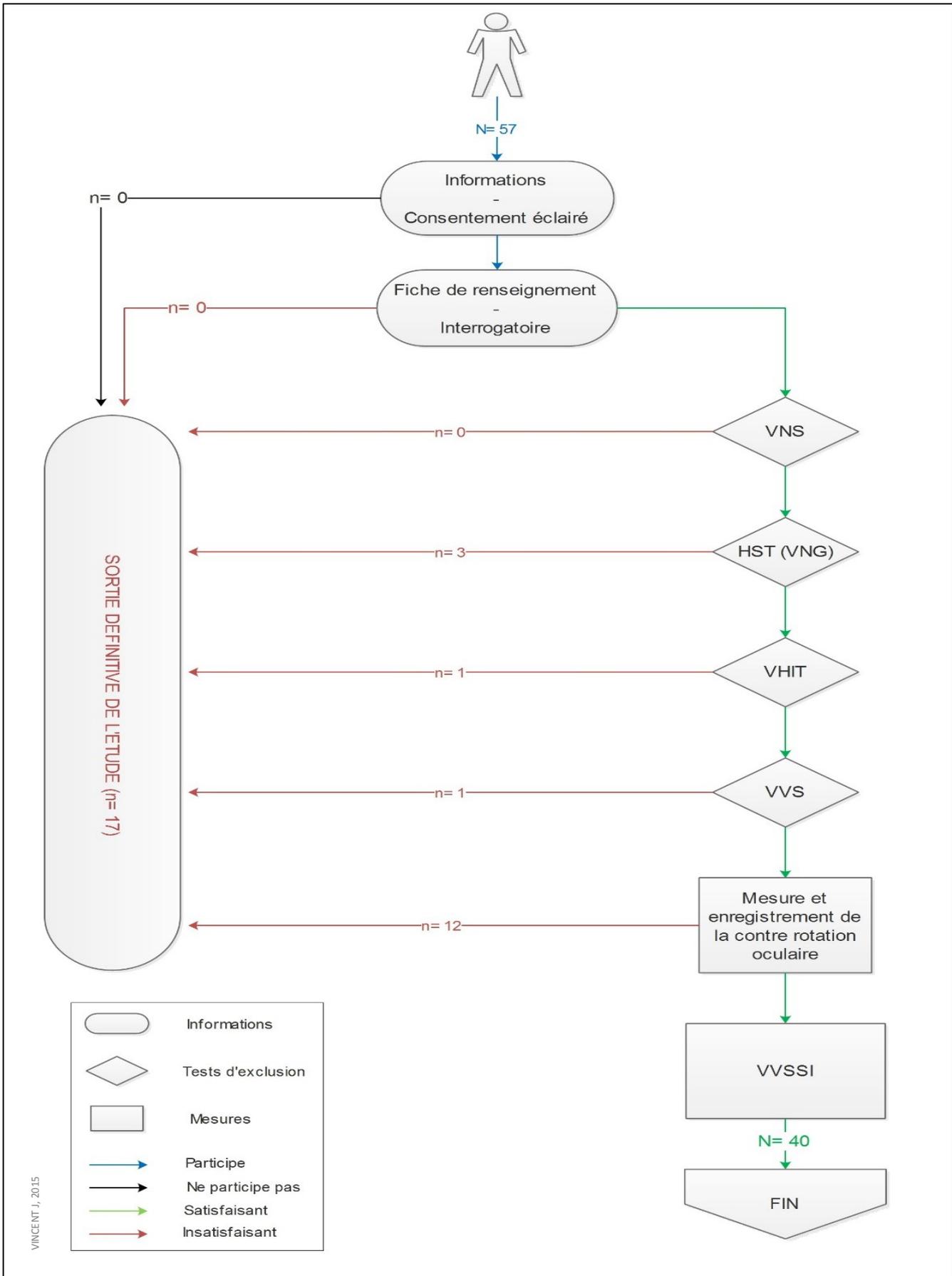


Fig.25 : Diagramme de cheminement retraçant le parcours type d'un participant.

## III. METHODOLOGIE DE RECHERCHE

Afin de comprendre le déroulement de notre protocole de recherche, nous invitons le lecteur à suivre celui-ci via le diagramme de cheminement ci-contre (fig.25).

### 1. Population

Dans le cadre de cette étude prospective, nous avons recruté 57 sujets sains âgés de 18 à 71 ans, sans aucun antécédent de pathologie vestibulaire, vertiges ou troubles de l'équilibre connus. Les sujets ont été soumis à un interrogatoire et ont répondu à un questionnaire, afin de déterminer leurs antécédents et les éventuelles pathologies actuelles ou passées pouvant interférer avec l'étude (cf : Annexe 2).

Pour s'assurer avec certitude que les sujets volontaires, puissent être inclus, nous leur avons fait passer une série d'examens.

Les critères d'inclusion sont les suivants :

- Etre un homme ou une femme âgée de 18 à 80 ans.
- Etre sain, sans aucune pathologie vestibulaire ou neurologique connue.

Les critères d'exclusion sont les suivants :

- Avoir des vertiges et/ou des troubles de l'équilibre (même en l'absence de pathologie vestibulaire connue).
- Avoir une inclinaison cervicale inférieure à 30° vers la gauche et/ou vers la droite.
- Présenter une positivité à l'un des quatre examens.
- L'absence de point de repère remarquable sur l'œil, appelée *tache irienne*.
- Présenter une ou plusieurs pathologies orthopédiques cervicales lourdes (chirurgie cervicale, arthrodèse, antécédent de fracture, etc.).

Les sujets répondant aux critères d'inclusion et d'exclusion ont été répartis en 2 groupes :

- ⇒ Groupe 1 (G1), pour les sujets âgés de 18 à 45 ans.
- ⇒ Groupe 2 (G2), pour les sujets âgés de 46 à 71 ans.

L'expérimentation s'est faite après consentement éclairé de chaque volontaire (cf : Annexe 3).



Fig.26 : Lunette infra-rouge sans fil de videonystagmoscopie.



Fig.27 : Photos de l'équipement nécessaire à la réalisation du VHIT. Les points sur le mur sont les points de référence que doivent fixer le patient pendant le test.

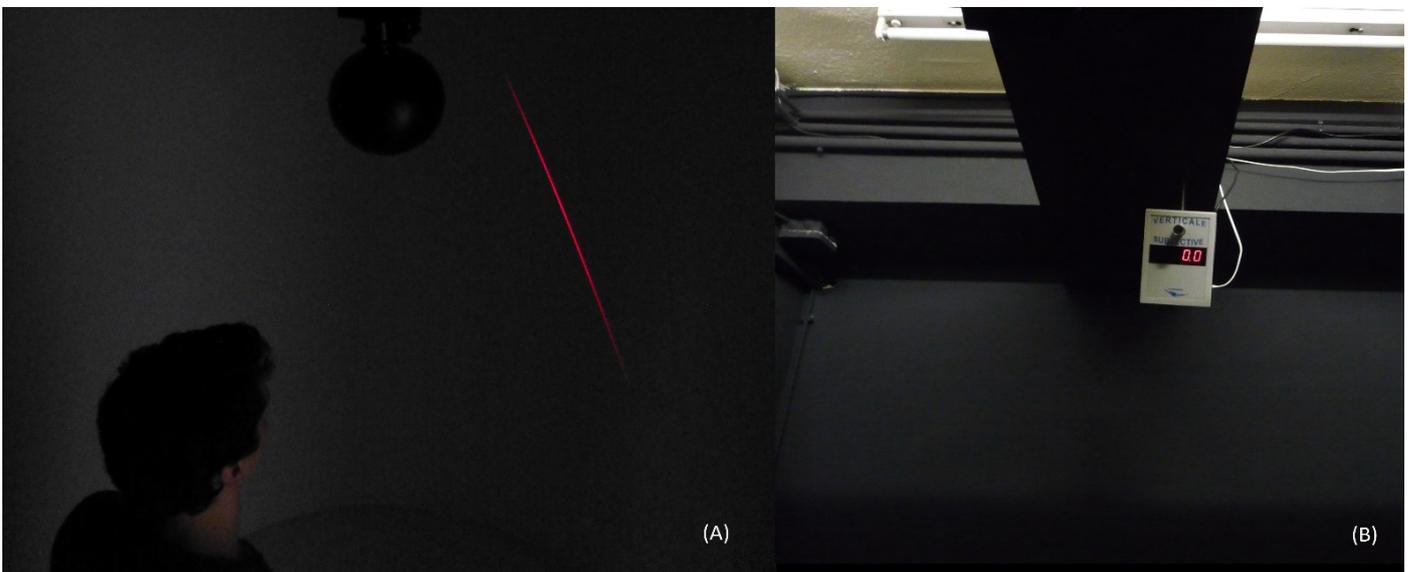


Fig.28 : Photo représentant un sujet au cours du test de la verticale visuelle subjective (A).  
Photo du projecteur laser de la VVS (B).

## 2. Matériels

### 2.1. *La vidéonystagoscopie.*

Nous avons utilisé des lunettes de vidéonystagoscopie (VNS) de chez *Synapsis*<sup>®</sup> SA, afin de pouvoir observer les yeux des sujets. Ce sont des lunettes infra-rouge qui place le sujet dans l'obscurité totale, permettant d'observer avec précision les mouvements des yeux lors des différents examens pratiqués (fig.26).

Associées à un logiciel de vidéonystagmographie (*Synapsis*<sup>®</sup> SA), ces lunettes permettent de suivre les mouvements oculaires afin de déceler un éventuel *nystagmus* ainsi que calculer sa valeur. Ce sont ces mêmes lunettes qui seront utilisées pour enregistrer la contre rotation oculaire. Etant donné l'absence de différence d'amplitude de CRO entre l'œil dominant et l'œil dominé (*Ooi, 2003*), nous avons choisis par défaut de filmer l'œil droit (78% des cas).

### 2.2. *Le VHIT (Vidéo Head Impulse Test)*

Le VHIT développé par *Synapsys*<sup>®</sup> SA, est un système permettant de suivre les mouvements oculaires (via une caméra infra-rouge) lors des mouvements haute fréquence de la tête (fig.27). Ce système va nous permettre d'évaluer le reflexe *vestibulo-oculaire* sur les mouvements haute fréquence de la tête pour chaque participant et donc d'évaluer le fonctionnement des canaux semi-circulaires de l'oreille interne.

### 2.3. *La verticale subjective*

Pour l'évaluation de la verticale subjective, les sujets sont placés debout dans une pièce obscure à 1,50 mètre d'un écran blanc. Sur cet écran blanc est projetée une barre lumineuse sous la forme d'un laser de couleur rouge mesurant 1,20 mètre de long via un projecteur laser de marque *Framiral*<sup>®</sup> SARL (fig.28) commandée par ordinateur. La verticale projetée sur l'écran dispose d'une résolution inférieure à  $0,1^\circ$  ainsi que d'une précision inférieure à  $0,5^\circ$  (*Framiral, 2006*). La position de départ de la barre lumineuse est déterminée aléatoirement à gauche ou à droite et est inclinée de  $30^\circ$  ( $-30^\circ$  vers la gauche et  $+30^\circ$  vers la droite) par rapport à la verticale terrestre. Sa vitesse de rotation horaire (position  $-30^\circ$ ) ou anti-horaire (position  $+30^\circ$ ) est programmée à  $2^\circ/S$ . Le système permettant la rotation de la barre lumineuse est totalement silencieux.



*Fig.29: Casque réglable associé à un plurimètre de Rippstein® utilisé pour mesurer l'inclinaison de la tête.*



*Fig.30 : Fauteuil Framiral® utilisé dans le cadre de notre protocole.*

#### 2.4. *L'inclinaison de la tête*

Pour mesurer l'inclinaison de la tête de manière très précise, nous avons utilisé un plurimètre de *Rippstein*<sup>®</sup> fixé à un casque réglable (fig.29) pouvant s'ajuster à la tête de chaque sujet. Cet inclinomètre sensible à la gravité permet d'effectuer des mesures précises et est souvent utilisé pour mesurer l'inclinaison de la tête (*Antonaci, 2000 ; Cooperstein, 2014*).

Ce système est semblable au Cervical Range Of Motion Instrument (CROM) utilisé dans beaucoup d'études et considéré comme un « gold standard » pour mesurer l'inclinaison cervicale (*Dunleavy, 2013 ; Williams, 2010 ; Audette, 2010*).

La seule différence avec le CROM est que notre système ne compte qu'un seul inclinomètre contre trois pour le CROM. Etant donné que l'on ne mesure que l'inclinaison cervicale dans le plan frontal, seul l'inclinomètre dans le plan frontal était utile. De plus comme l'a montré une méta-analyse, l'inclinomètre seul est un outil permettant des mesures fiables et reproductibles (*Williams, 2010*).

#### 2.5. *Le fauteuil*

Lors de la mesure de la contre rotation oculaire, les sujets sont placés dans un fauteuil *Framiral*<sup>®</sup> SARL (fig.30), disposant d'accoudoirs et de poignées que les sujets saisissent afin de ne pas bouger durant l'enregistrement de la contre rotation oculaire. De plus, avant chaque mesure le dossier du fauteuil est placé à 90° par rapport à l'assise de manière à ce que la tête se situe bien dans l'axe de la verticale terrestre (position de Francfort).

#### 2.6. *Logiciel de traitement d'image*

Pour traiter les images relatives à la contre rotation oculaire, nous avons utilisé le logiciel « Gimp-2.8.14<sup>®</sup> ». Ce logiciel de traitement d'images nous a permis de déterminer les différents angles permettant de calculer la contre rotation oculaire. Associé à ce logiciel de traitement d'images nous avons utilisé un algorithme de traitement d'images Retinex de manière à améliorer le rendu visuel de l'image. Ce système de traitement d'images Retinex est utilisé dans de nombreux domaines notamment en radiologie pour améliorer la netteté des images et mettre en évidence des structures peu visibles (*Rahman, 2001*).

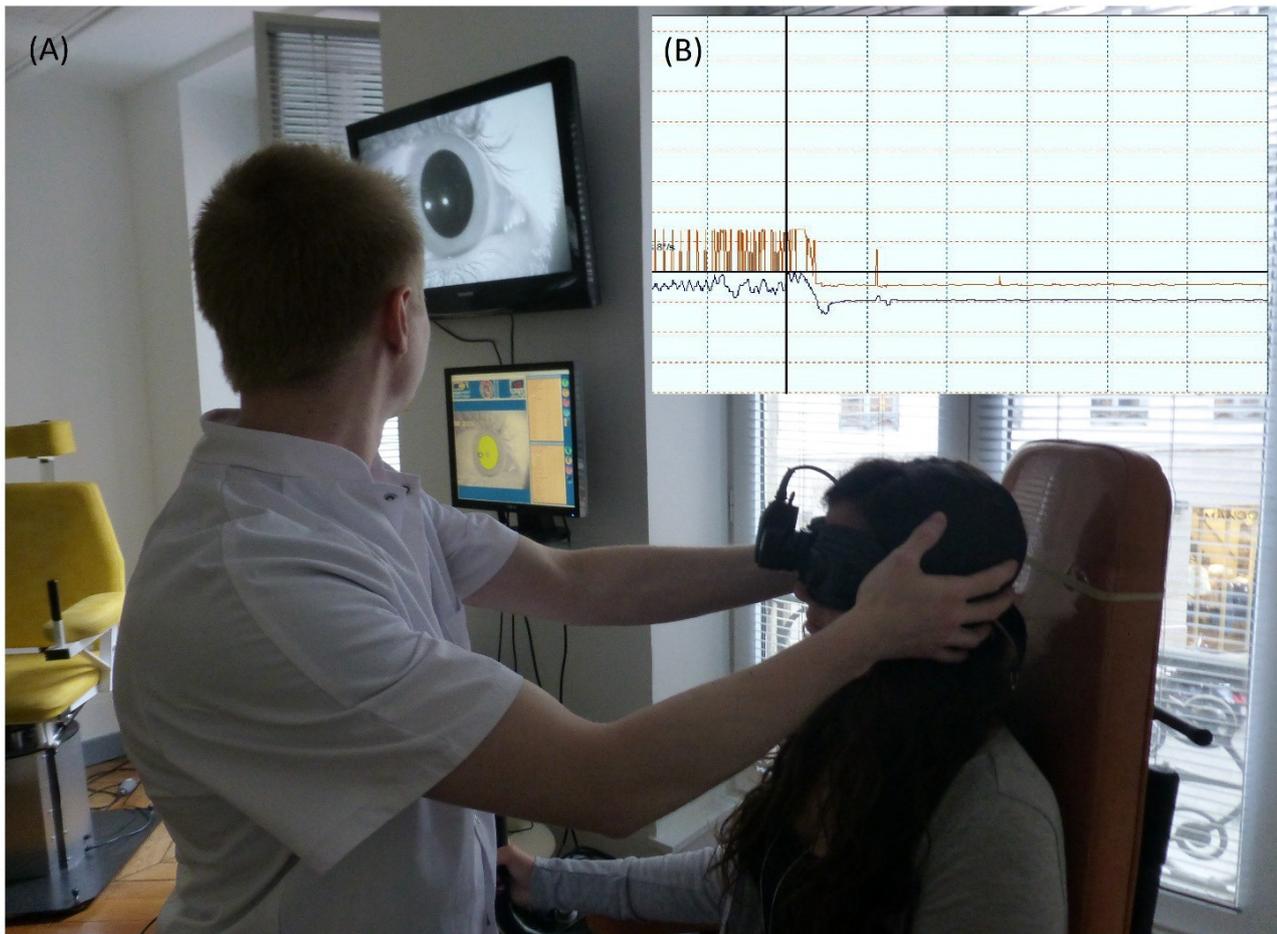


Fig.31 : Photo d'un sujet subissant un Head Shaking Test (A). Graphique représentant les résultats du HST (B).



Fig.32 : Photo prise lors de l'examen du VHIT.

### 3. Déroulement de l'expérimentation

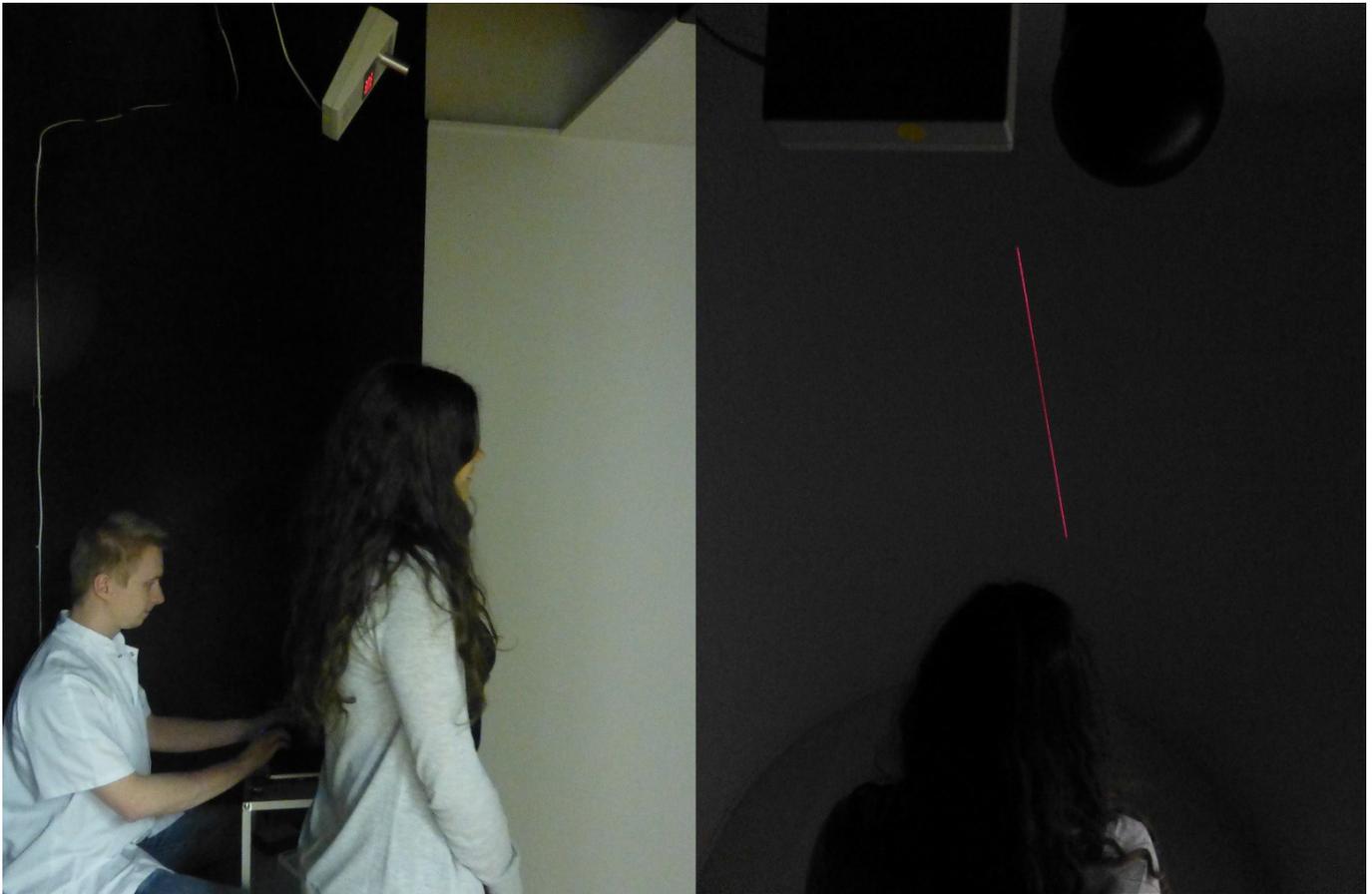
A l'arrivée des sujets, nous leur expliquons le but de l'expérimentation et ses modalités et répondons à leurs différentes interrogations. Ensuite après avoir signé le document de consentement éclairé, chaque sujet remplit un questionnaire, afin de déterminer s'il présente des antécédents ou des pathologies pouvant avoir une influence sur notre étude.

Si le questionnaire et l'interrogatoire ne révèlent rien d'anormal alors les sujets subissent une série d'examens.

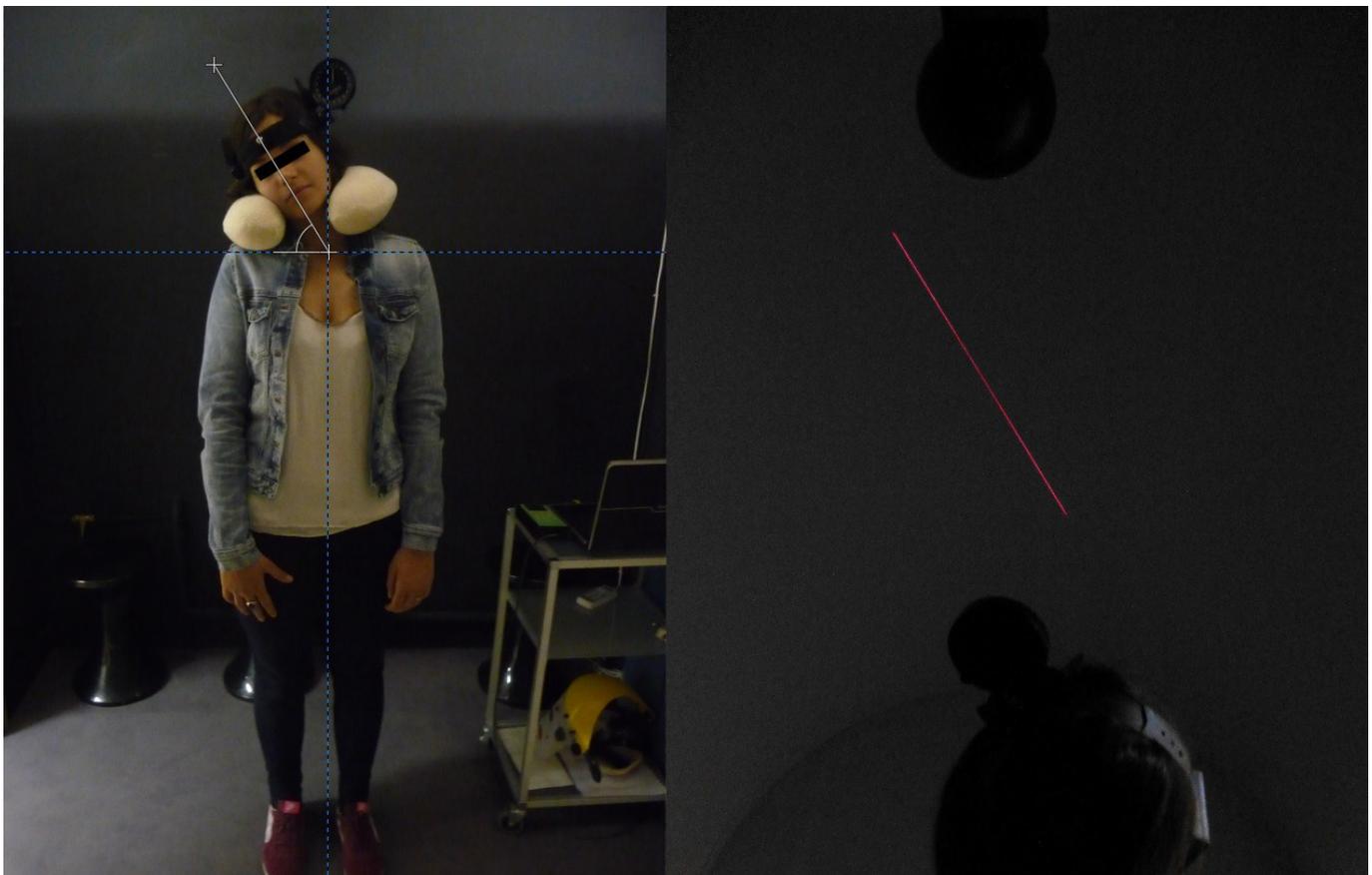
#### 3.1. *Examens déterminants l'inclusion ou l'exclusion des participants*

Les examens pratiqués ont été les suivants :

- Une vidéonystagmoscopie (VNS), afin de s'assurer de l'absence de *nystagmus* spontané. Le patient est assis dans un fauteuil avec un masque de VNS et on observe si un *nystagmus* spontané est présent. Si oui alors le patient est exclu de l'étude.
- Un Head Shaking Test (HST) associé à un logiciel de vidéonystagmographie (VNG), pour déterminer une éventuelle asymétrie de réponse *vestibulo-oculaire* (**Mishra, 1999**). Assis dans un fauteuil, le patient porte des lunettes de vidéonystagmoscopie. L'opérateur se place devant lui et effectue des rotations rapides de la tête à droite et à gauche soit 20 allers-retours en 10 secondes (fréquence 2Hz). Une fois retourné en position médiane, on observe si oui ou non, on note la présence de *nystagmus* d'un côté ou de l'autre. Si tel était le cas, alors le patient serait exclu de l'étude car la présence d'un *nystagmus* dans ces conditions serait pathologique (fig.31). De plus, le logiciel de vidéonystagmographie associé au HST, nous permet via un graphique de confirmer l'absence de *nystagmus* (cf : Annexe 4).
- Un Video Head Impulse Test (VHIT), afin de déterminer, un éventuel déficit canalaire dans l'oreille interne (**Macdougall, 2013**). Le sujet est assis à 90 centimètres de la caméra et doit fixer une série de points situés sur le mur derrière la caméra. L'opérateur se place derrière le patient, demande au sujet de fixer le point désiré et mobilise la tête du sujet dans les plans correspondants aux différents canaux vestibulaires (fig.32).



*Fig.33 : Epreuve durant laquelle le sujet doit estimer la verticale visuelle subjective tête en rectitude dans l'obscurité totale.*



*Fig.34 : Epreuve durant laquelle le sujet estime la VVS tête inclinée de 30° à droite.*

d'évaluer le réflexe *vestibulo-oculaire* du sujet et de s'assurer que le sujet ne présente pas d'hypo-réflexie ou d'aréflexie canalaire à haute fréquence. Les résultats de l'examen nous donnent un canalogramme représentant l'ensemble des canaux semi-circulaires associés à leur état de fonctionnement (cf : Annexe 5).

- Une épreuve durant laquelle ils devront estimer la verticale visuelle subjective (VVS) tête en rectitude. Comme décrit précédemment, les sujets sont placés debout dans une salle obscure à 1,5 mètre d'un écran sur lequel est projeté le laser lumineux. Durant cet examen, 8 mesures vont être effectuées (4 mesures dans le sens horaire et 4 mesures anti-horaire), et pour chaque mesure la position de départ du laser est déterminée de manière aléatoire (fig.33). Suite à cet examen, si la moyenne en valeur absolue de toutes les mesures effectuées est inférieure à 2°, alors cela indique que le patient a une bonne perception de la verticale, et peut donc être inclus dans l'étude. En effet on considère qu'une déviation moyenne supérieure ou égale à 2° vers la gauche ou vers la droite serait pathologique (*Akin, 2009 ; Bohmer, 1999*).

### 3.2. *Evaluation de la verticale visuelle subjective tête inclinée*

A présent, nous allons évaluer la perception de la verticale visuelle subjective du patient en situation de tête inclinée (VVSSI) lors de deux épreuves similaires.

Pour cela, le sujet va être placé debout à 1,5 mètre de l'écran sur lequel est projeté la verticale. Nous allons placer sur sa tête le casque muni du plurimètre, et déterminer la position 0 (0°) d'inclinaison de la tête. Une fois déterminée, nous amenons la tête du sujet en inclinaison gauche ou droite de 30° strictement dans le plan frontal et on demande au sujet de bien maintenir cette position durant toute l'épreuve (fig.34). Pour faciliter le maintien de la tête et pour créer un rappel proprioceptif, le sujet porte un coussin cervical ergonomique. Au début de l'épreuve, un tirage au sort est effectué afin de déterminer si le sujet va commencer l'épreuve tête inclinée à gauche ou tête inclinée à droite (nous allons prendre l'exemple d'un sujet commençant par l'inclinaison droite).

Durant la première, épreuve nous allons évaluer la verticale visuelle subjective du patient en situation de tête inclinée à droite. Pour cela, huit mesures vont être effectuées, quatre mesures pour lesquelles le laser lumineux est incliné de -30° à gauche en position de départ



Fig.35 : Positionnement correct du sujet dans son fauteuil lors de la prise des mesures.

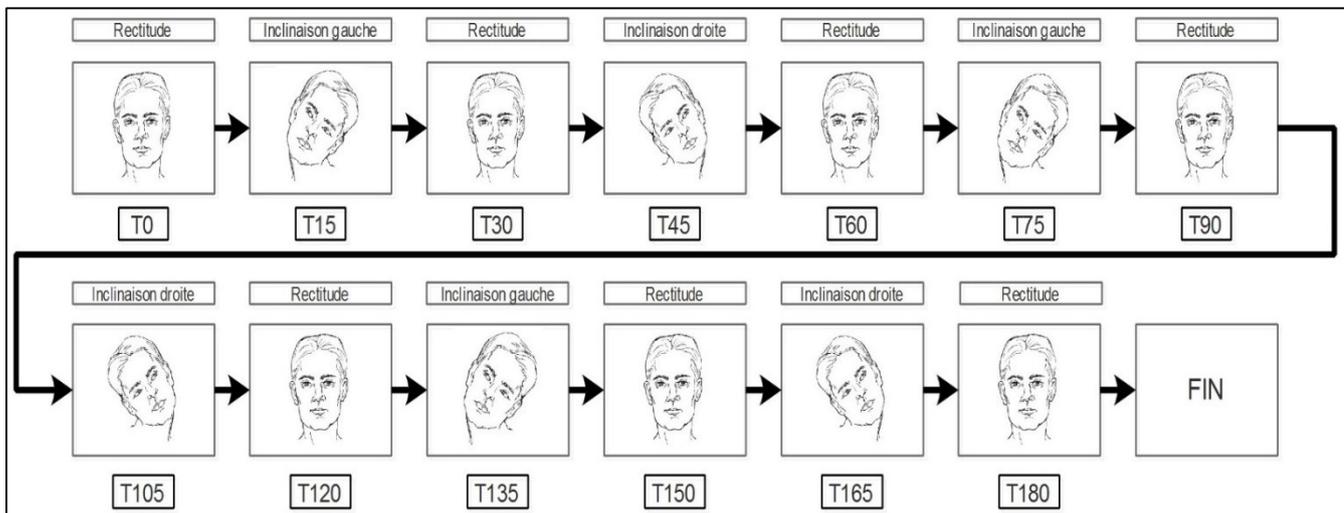


Fig.36 : Frise chronologique représentant les différentes phases de l'enregistrement de la contrerotation oculaire.

(le laser va donc tourner dans le sens horaire) et quatre mesures pour lesquelles le laser lumineux est incliné de  $30^\circ$  à droite en position de départ (le laser va donc tourner dans le sens anti-horaire). La position de départ du laser est déterminée aléatoirement entre chaque mesure et afin d'habituer le sujet à l'obscurité un délai de 30 secondes minimum est respecté entre l'extinction de la lumière et le moment où le sujet commence véritablement l'épreuve.

Lorsque le sujet considère le laser comme parfaitement vertical, il doit dire « STOP » et nous arrêtons via l'ordinateur la rotation du laser. Le sujet peut ensuite corriger la verticalité du laser en demandant à l'opérateur de l'amener vers la gauche ou la droite avec un pas de  $0,09^\circ$ .

Après avoir effectué les quatre premières mesures, nous avons vérifié que l'inclinaison de la tête soit bien de  $30^\circ \pm 2^\circ$  (si tel n'était pas le cas, ces quatre mesures seraient effacées et reprises). Une fois les huit mesures effectuées, il est demandé au sujet de ne pas bouger la tête, ainsi après avoir allumé la lumière nous avons pu vérifier si la tête était toujours en inclinaison de  $30^\circ$  vers la droite ou si la tête du patient avait bougé. Si lors de la vérification de l'inclinaison, la tête du sujet n'est plus à  $30^\circ$  d'inclinaison  $\pm 2^\circ$  alors les quatre dernières mesures effectuées sont considérées comme incorrectes, effacées et reprises.

La deuxième épreuve est strictement identique mis à part que le sujet a maintenant la tête inclinée à gauche.

Pour des raisons pratiques et techniques, on considère que l'amplitude de la déviation de la verticale visuelle subjective vers la gauche dans le sens anti-horaire est négative, tandis qu'elle est positive dans le sens opposé.

### 3.3. *Mesure de l'amplitude de la contre rotation oculaire*

Le sujet est maintenant assis et installé dans le fauteuil comme décrit précédemment. On place le casque muni du plurimètre sur la tête du sujet, et on détermine la position pour laquelle la tête du sujet est dans l'alignement de la verticale terrestre, c'est-à-dire à  $0^\circ$  d'inclinaison cervicale (fig.35).

Une fois la position 0 déterminée, on démarre la caméra et on enregistre l'œil du sujet pendant 10 secondes en position 0 (fig.36), c'est-à-dire la tête en rectitude par rapport au corps, c'est T0 (0 à 15 secondes). A T15 (15 à 30 secondes) on amène la tête du sujet en inclinaison gauche de  $30^\circ$  et on maintient cette position jusqu'à T30 pendant 15 secondes,



Fig.37 : Position du sujet et de l'opérateur pendant l'enregistrement de la contre rotation oculaire.

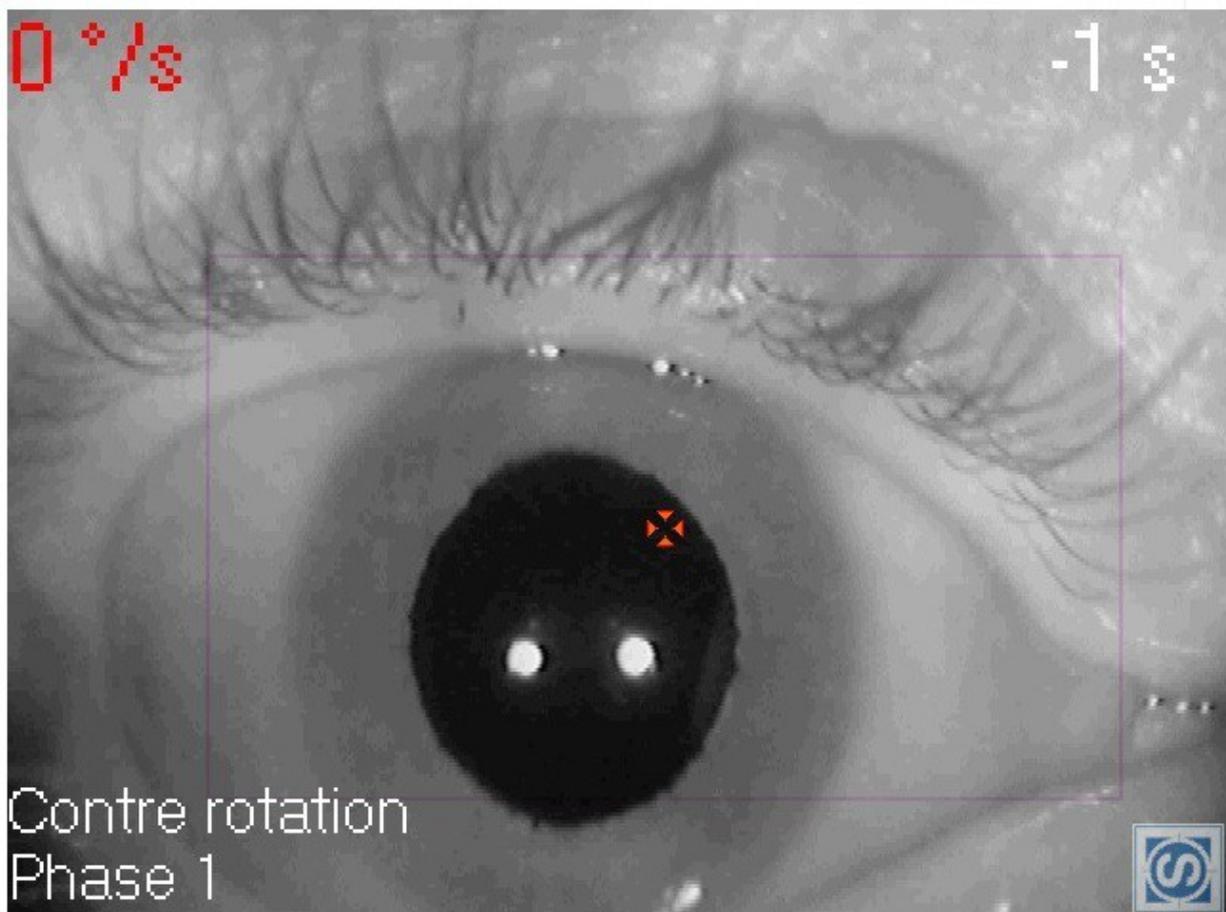


Fig.38 : Photo de l'œil permettant à postériori le calcul de la contre rotation oculaire.

ensuite on amène la tête en rectitude jusqu'à T45, puis on amène la tête en inclinaison droite de 30° jusqu'à T60 et on ramène la tête en rectitude à T75.

Sur le même enregistrement, on répète trois fois ce schéma de manière à filmer l'œil lors de trois inclinaisons gauches et de trois inclinaisons droites, ce qui nous amène jusqu'à T180 (fig.36).

De manière à éviter une excentration de la tête par rapport au corps, il est demandé au sujet de ne pas lâcher les poignées et de ne pas bouger tout au long de l'examen. Si toutefois il arrivait que le sujet effectue un mouvement brusque de la tête ou du corps, alors l'examen serait annulé et recommencé.

Lors des mouvements d'inclinaison et de maintien de l'inclinaison, le sujet ne peut en aucun cas bouger la tête, car l'opérateur la maintient fermement. De plus l'examen est activo-passif; en effet c'est l'opérateur qui guide et mobilise la tête durant les mesures, le sujet ne fait que soutenir sa tête et suivre les mouvements effectués par l'opérateur. (fig.37).

L'expérimentation prend fin après cette dernière épreuve.

#### 3.4. *Calcul de l'amplitude de la contre rotation oculaire*

Pour calculer l'amplitude de la contre rotation oculaire, nous avons photographié l'œil (fig.38) pour chaque position de tête. Nous avons donc réalisé trois photos tête inclinée à gauche, trois photos tête inclinée à droite et sept photos tête en rectitude (il y a plus de photos tête en rectitude car pour passer d'une inclinaison à une autre, la tête repasse toujours par une position en rectitude). Sur les différentes photographies, nous avons appliqué le filtre Rétinex puis nous avons repéré un point remarquable appelé *tache irienne* que nous avons suivi tout au long de l'enregistrement vidéo et des différentes photographies réalisées.

Pour chaque photographie réalisée, nous avons déterminé le centre de l'œil via une droite verticale et une droite horizontale, puis nous avons tracé une droite passant par le centre de l'œil et la tache irienne de manière à ce que le logiciel calcule l'angle de CRO.

Cela nous permet d'obtenir un angle entre la droite passant par la *tache irienne* et la droite horizontale, pour chacune des treize photographies réalisées et donc de déterminer la contre rotation oculaire entre chaque changement de position de tête (cf : Annexe 6).

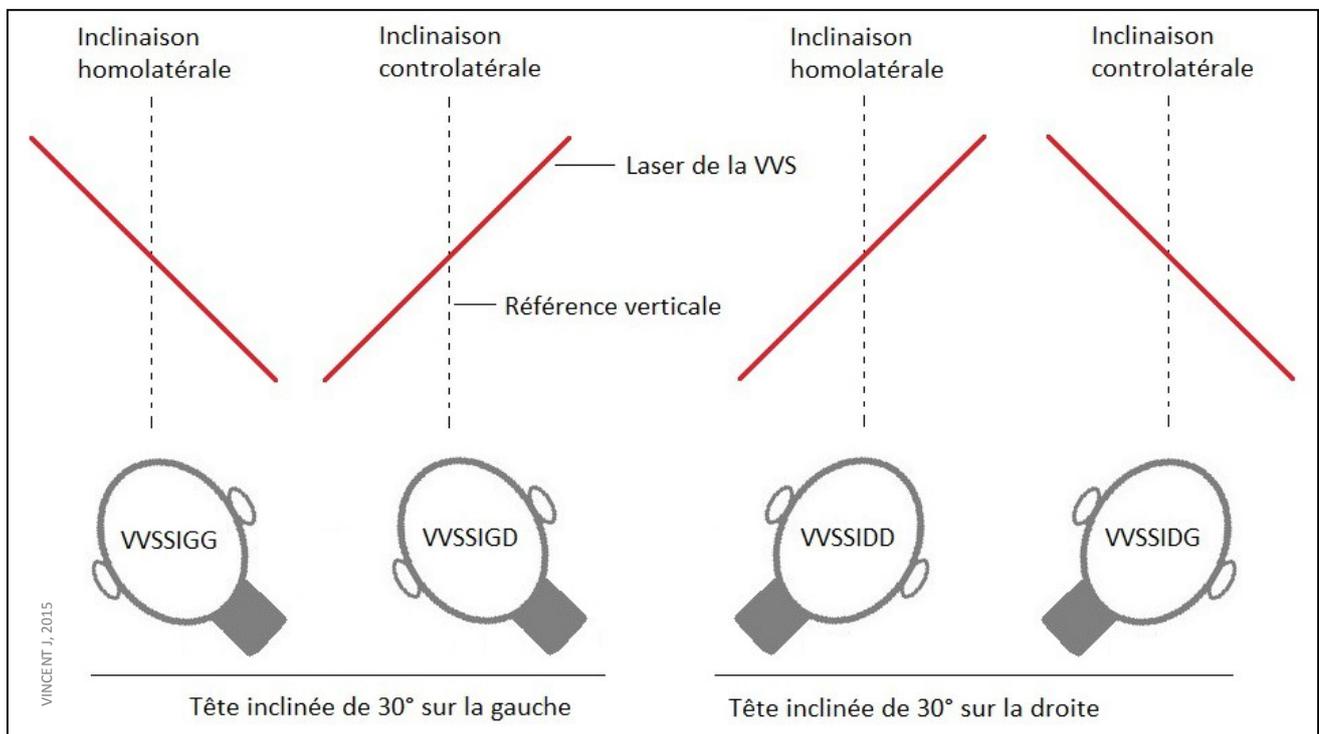


Fig.39 Représentation des différentes modalités d'évaluation de la verticale visuelle subjective en situation d'inclinaison.

#### 4. Analyse statistique

##### 4.1. *Les mesures de la verticale visuelle subjective*

Les valeurs obtenues lors de l'évaluation de la verticale visuelle subjective tête en rectitude seront traitées sous forme de moyennes en valeurs relative et absolue. Les valeurs absolues nous permettent de constater l'amplitude de la déviation quel que soit le côté de la déviation.

Pour la verticale visuelle subjective en situation de tête inclinée (VVSSI), différentes moyennes seront calculées en fonction des quatre modalités d'évaluation (fig.39). On considère :

- VVSSIGG, la moyenne des valeurs tête inclinée à gauche, laser départ à gauche de  $-30^\circ$ .
- VVSSIGD, la moyenne des valeurs tête inclinée à gauche, laser départ à droite de  $30^\circ$
- VVSSIDD, la moyenne des valeurs tête inclinée à droite, laser départ à droite de  $30^\circ$
- VVSSIDG, la moyenne des valeurs tête inclinée à droite, laser départ à gauche de  $-30^\circ$

##### 4.2. *Les mesures de la contre rotation oculaire*

Pour la contre rotation oculaire, nous avons mesuré trois angles de contre rotation tête inclinée à gauche (CROG), trois angles de contre rotation tête inclinée à droite (CROD) et sept angles de contre rotation oculaire correspondant à la position zéro de l'œil lorsque la tête est en rectitude. Tout comme les autres valeurs, on utilisera pour le traitement statistique la moyenne des différentes valeurs pour chacune des trois situations.

##### 4.3. *Outils statistiques utilisés*

Le premier outil statistique utilisé sera le test de Grubbs bilatéral, le test d'ESD généralisé et le test de Tukey afin de déterminer les éventuelles valeurs aberrantes (*outliers*). En effet, la présence d'*outliers* pourrait influencer les résultats d'une distribution, et d'une régression linéaire et donc influencer les résultats d'un test de corrélation linéaire.

L'intérêt de ce test est d'éviter que des valeurs aberrantes viennent fausser certains calculs statistiques sensibles, comme la variance, l'écart-type ou tout autre test statistique utilisant la fonction carré (**Baudot, 2014**).

Ensuite via le test de Shapiro-Wilk, nous évaluerons si les valeurs issues de la CRO suivent bien une distribution selon la *loi normale* (condition indispensable lors d'une analyse par *régression linéaire*, notamment lors de l'utilisation du test de corrélation Bravais-Pearson). Le test de Shapiro-Wilk est un test très puissant lorsque l'échantillon ne dépasse pas 50 observations (N=40 dans notre cas) et c'est pourquoi il sera utilisé pour évaluer la distribution des valeurs de la contre rotation oculaire (**Rakotomalala, 2011**).

Pour évaluer la distribution des valeurs de la VVSSI, nous utiliserons le test de distribution d'Agostino-Pearson qui permet de déterminer si une distribution donnée suit une *loi normale*. Si nous avons utilisé le test d'Agostino-Pearson plutôt que le test de Shapiro-wilk pour évaluer la distribution des valeurs de la VVSSI c'est parce que dans le cas de la VVSSI, le nombre de valeur n, est égale à 80 (le test de Shapiro-Wilk n'étant pas conseillé si  $n > 50$ ).

Pour évaluer une éventuelle corrélation entre la perception de la verticale en situation de tête inclinée (VVSSI) et la contre rotation oculaire (CRO), nous allons effectuer le test de corrélation linéaire de Bravais-Pearson. Le test de corrélation linéaire de Bravais-Pearson, permet de résumer graphiquement via un nuage de points et une droite (droite obtenue par régression linéaire simple) l'existence d'une éventuelle corrélation. Plus les points sont proches et/ou situés sur la droite, plus la corrélation est forte. La qualité de cette régression et donc de la corrélation est donnée par le coefficient de Pearson  $R_{\text{calculé}}$  qui est comparé au  $R_{\text{théorique}}$  ( $R_{\text{théorique}} = 0.3125$ ) issu de la table de Bravais-Pearson (cf : Annexe 7). Ce coefficient est compris entre -1 et +1 ; -1 signifie une corrélation négative, donc en sens inverse et +1 une corrélation absolue dans le même sens. Si le coefficient est proche de 0, alors c'est que les variables « contre rotation oculaire » et « verticales visuelles subjectives en situation de tête inclinée » ne sont pas corrélées de manière linéaire.

Pour évaluer l'évolution de la contre rotation oculaire en fonction de l'âge, l'évolution de la VVS tête en rectitude en fonction de l'âge et l'évolution de la VVSSI en fonction de l'âge nous avons utilisé le test de Student et le test de Fisher-Snedecor. Le test de Student va nous permettre de comparer directement les moyennes correspondantes aux différentes tranches d'âge, tandis que le test de Fisher-Snedecor, va nous permettre de démontrer l'*homoscédasticité* des différentes variables à comparer (étape indispensable avant l'utilisation du test de Student).

Motif sortie étude	Sexe		Sous total
	H	F	
Vidéo exploitable	16	24	40
Vidéo non exploitable	7	5	12
Sortie VHIT	1	0	1
Sortie VVSS	0	1	1
Sortie HST	1	2	3
<b>Sous total</b>	<b>25</b>	<b>32</b>	<b>57</b>

Tab.1 : Tableau récapitulatif du nombre de sujet ayant quitté et intégré l'étude.

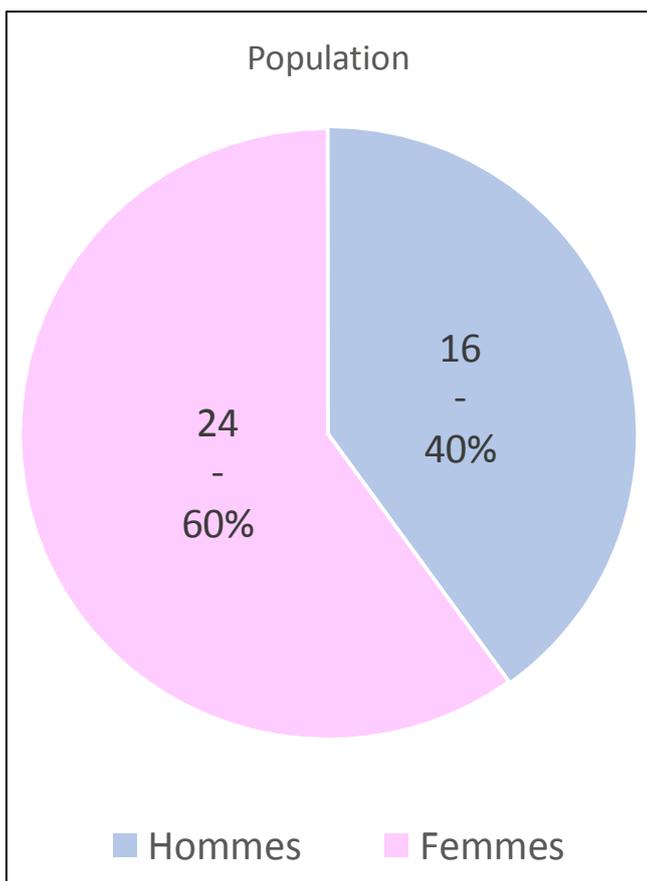


Fig.40: Diagramme représentant la proportion homme-femme.

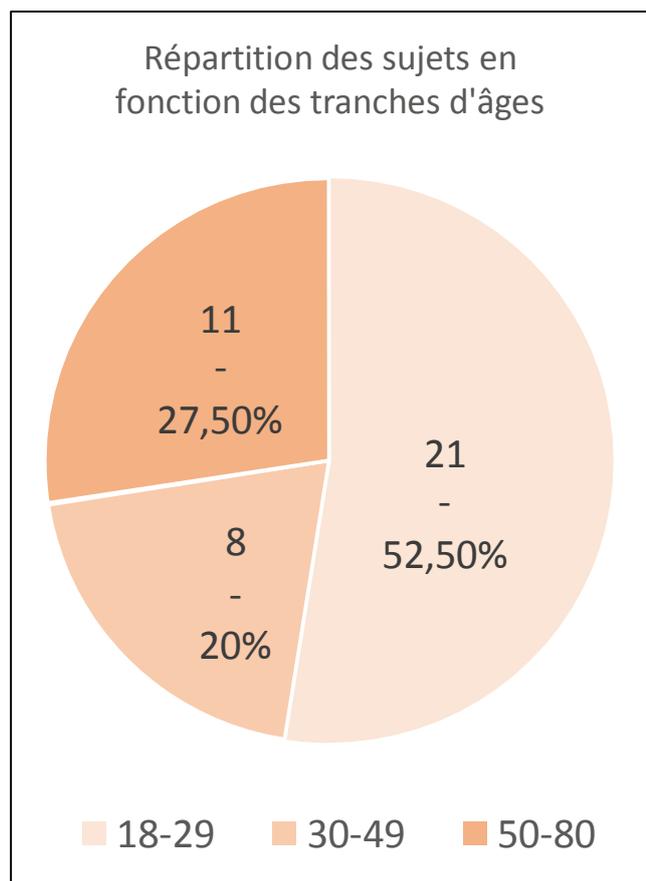


Fig.41 : Diagramme représentant le nombre de sujets par tranches d'âges.

## IV. RESULTATS

Le traitement des données a été effectué à l'aide du logiciel de traitement statistique MedCalc<sup>®</sup> et du logiciel Microsoft Excel<sup>®</sup>. Sur les 57 sujets ayant participé à cette étude, 12 sujets ont été exclus de l'étude car leur enregistrement de la contre rotation oculaire n'était pas correctement analysable (clignement d'œil, absence de tache irienne), et 5 autres sujets ont présenté une ou plusieurs positivités à l'un des tests d'exclusion pratiqués. (tab.1).

Par conséquent sur les 57 participants au départ, seuls 40 ont été finalement retenus.

### 1. La population

On retrouve une majorité de femmes ayant participé à l'étude, 24 femmes contre 16 hommes (fig.40).

Les deux groupes créés selon deux tranches d'âge n'ont pas pu être homogénéisés, en effet on retrouve une majorité de sujets jeunes avec une moyenne d'âge pour l'ensemble de notre échantillon égale à  $35,6 \pm 15,4$  ans.

Le groupe 1 (G1) représentant la tranche d'âge de 18 à 45 ans représente 72,5% de l'échantillon (âge moyen égal à  $26,4 \pm 8$  ans), tandis que le groupe 2 (G2) représentant les sujets âgés de 46 à 71 ans, représente 27,5% de la population de notre échantillon (âge moyen égal à  $56,1 \pm 6$  ans) (fig.41).

### 2. Détection des valeurs aberrantes

Afin de détecter d'éventuelles valeurs aberrantes, nous avons utilisé trois tests qui sont les tests de Grubbs bilatéral, d'ESD généralisé et de Tukey.

Pour les tests de Grubbs bilatéral et ESD généralisé nous avons choisi un seuil alpha ( $\alpha$ ) égal à 0.05 de manière à déterminer les valeurs aberrantes dans un intervalle de confiance de 95%. Sur ces trois tests, aucun n'est revenu positif et n'a détecté de valeurs aberrantes.

		$W_{\text{calculé}}$	$W_{\text{théorique}}$	$P$	Normalité
Test de Shapiro-Wilk	CRO G (H)	0.9837	0.940	0.8209	Oui
	CRO D (AH)	0.9586		0.1502	Oui
Test d'Agostino Pearson	VVSSI G			0.4394	Oui
	VVSSI D			0.1154	Oui

Tab.2 : Tableau de valeurs issues du test de Shapiro-Wilk et d'Agostino-Pearson.

	Moyenne	Moyenne en valeur absolue	Médiane	Erreur type	Ecart-type	Variance	Variance intra-essai	
CROG	4.14		4.14	0,22	1.42	2.04	1.20	
CROD	4.15		3.75	0,25	1.6	2.6	1.25	
VVSG	-0.40	1.0	-0.31	0.09	1.18	1.4	0.45	
VVSD	0.69	0.99	0.62	0.08	1.02	1.04	0.49	
VVSSIGG	-0.33	1.92		-0.92	0,43	2.73	7.44	3,80
VVSSIGD	4.16			4.44	0,48	3.04	9.25	3,12
VVSSIDD	1.19	-1.03		1.36	0,56	3.56	12.69	2.09
VVSSIDG	-3.25			-3.04	0,38	2.43	5.91	3.83

Tab.3 : Tableau récapitulatif des résultats préliminaires relatifs aux moyennes, aux écarts-types et aux variances.

### 3. Distribution statistique

Nous avons cherché à déterminer si les variables représentant la contre rotation oculaire (CRO) et les variables représentant la verticale visuelle subjective en situation d'inclinaison (VVSSI) étaient distribuées selon la loi normale dit de Gauss. Pour cela nous avons utilisé deux tests statistiques qui sont le test de Shapiro-Wilk et le test d'Agostino-Pearson, de telle manière à déterminer si oui ou non ces séries de valeurs suivent une loi normale.

Les résultats issus du test de Shapiro-Wilk (tab.2) montrent que l'ensemble des valeurs de la CRO suivent une loi normale. En effet on retrouve un  $W > W_{\text{théorique}}$  (cf : Annexe 8) et un  $p > 0,05$  ce qui par conséquent nous permet d'accepter l'hypothèse  $H_0$  de normalité de la distribution au niveau de confiance de 95% (donc au risque 5% de se tromper).

Le résultat issu du test d'Agostino-Pearson montre que les valeurs de la VVSSI à gauche et à droite suivent une loi normale. En effet ce test rapporte que la probabilité  $p$  que la VVSSI suive une loi normale est supérieure à 0.05 au niveau de confiance de 95% (tab.2).

Les graphiques Q-Q plot (cf : Annexe 9) représentant la distribution de la CRO et de la VVSSI montrent bien que la distribution de ces séries tend à suivre une distribution normale (même si certaines valeurs semblent isolées). Ce diagramme nous permet de voir que les écarts de distribution constatés (comparés à une distribution normale) concernent particulièrement les valeurs extrêmes de notre échantillon.

### 4. Résultats préliminaires

Les résultats relatifs aux moyennes, aux écart-types, et aux variances sont regroupés dans le tableau ci-joint (tab.3).

Par rapport à la CRO, on retrouve une amplitude moyenne toute inclinaison confondue égale à 4,15° soit un gain de 0,14.

Vis à vis de la perception de la verticale tête inclinée, nous avons constaté que lorsque le laser est parallèle à la tête en position de départ donc en inclinaison homolatérale, l'amplitude de la déviation est en moyenne de 0,76° tandis que si le laser est incliné en position de départ de manière controlatérale à la position de la tête, on constate une déviation moyenne de la verticale de 3,71°. On constate donc une différence statistiquement significative entre ces deux différentes conditions d'évaluation.

## 5. Corrélation entre la verticale visuelle subjective en situation de tête inclinée et l'amplitude de la contre rotation oculaire.

### 5.1. *Tête inclinée à gauche*

Dans le premier cas de figure, où le laser était incliné de  $-30^\circ$  vers la gauche (donc en inclinaison homolatérale à la tête), le coefficient R de corrélation linéaire entre la CRO et la VVS tête inclinée à gauche est de 0.2875 ( $p= 0.0721$ ), soit  $R_{\text{calculé}} < R_{\text{théorique}}$  et proche de 0, par conséquent ces deux variables ne sont que très faiblement corrélées voire non corrélées au risque 5% de se tromper ( $\alpha=0.05$ ) (fig.42).

Dans le deuxième cas de figure, où le laser était incliné de  $30^\circ$  vers la droite (donc en inclinaison controlatérale à la tête), le coefficient R de corrélation linéaire entre la CRO et la VVS tête inclinée à gauche est de 0.0974 ( $p= 0.5499$ ), soit  $R_{\text{calculé}} < R_{\text{théorique}}$ , et extrêmement proche de 0, par conséquent ces deux variables ne sont pas statistiquement corrélées au risque 5% de se tromper ( $\alpha=0.05$ ) (fig.43).

### 5.2. *Tête inclinée à droite*

Dans le premier cas de figure, où le laser était incliné de  $30^\circ$  vers la droite (donc en inclinaison homolatérale à la tête), le coefficient R de corrélation linéaire entre la CRO et la VVS tête inclinée à droite est de 0.2484 ( $p= 0.1222$ ), soit  $R_{\text{calculé}} < R_{\text{théorique}}$  et proche de 0, par conséquent ces deux variables ne sont que très faiblement corrélées voire non corrélées au risque 5% de se tromper ( $\alpha=0.05$ ) (fig.44).

Dans le deuxième cas de figure, où le laser était incliné de  $-30^\circ$  vers la gauche (donc en inclinaison controlatérale à la tête), le coefficient R de corrélation linéaire entre la CRO et la VVS tête inclinée à droite est de 0.2682 ( $p= 0.0943$ ), soit  $R_{\text{calculé}} < R_{\text{théorique}}$  et proche de 0, par conséquent ces deux variables aussi ne sont que très faiblement corrélées voire non corrélées au risque 5% de se tromper ( $\alpha=0.05$ ) (fig.45).

En conclusion, les résultats issus du test de corrélation linéaire de Bravais-Pearson montrent une très faible corrélation entre la VVSSI et la CRO quelles que soient les conditions de départ dans lesquelles se trouve le laser lumineux (tab.4). En effet les quatre coefficients de corrélation calculés sont proches de zéro et sont inférieurs au  $R_{\text{théorique}}$  issu de la table de Bravais-Pearson.

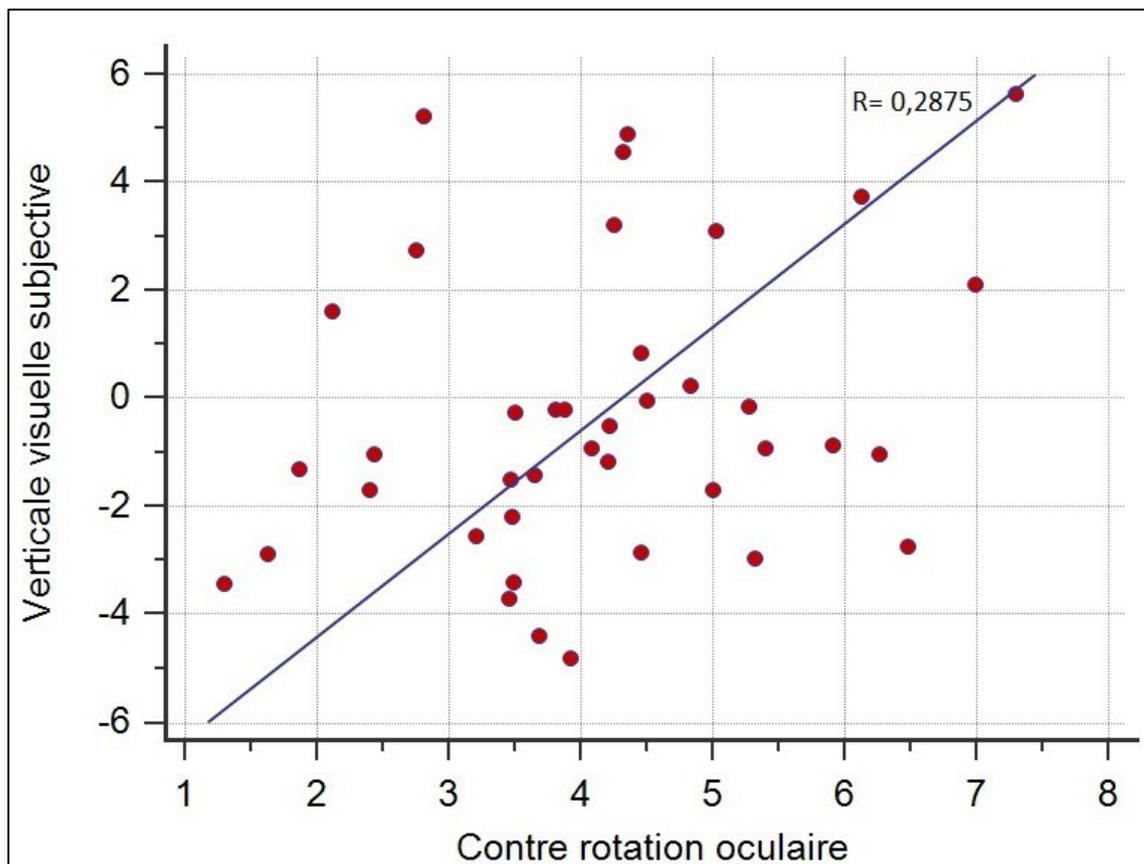


Fig.42 : Représentation graphique sous forme d'un nuage de points, de la corrélation entre la contre rotation oculaire et la verticale visuelle subjective tête inclinée lorsque la tête est inclinée à gauche et le laser incliné de  $-30^\circ$  vers la gauche.

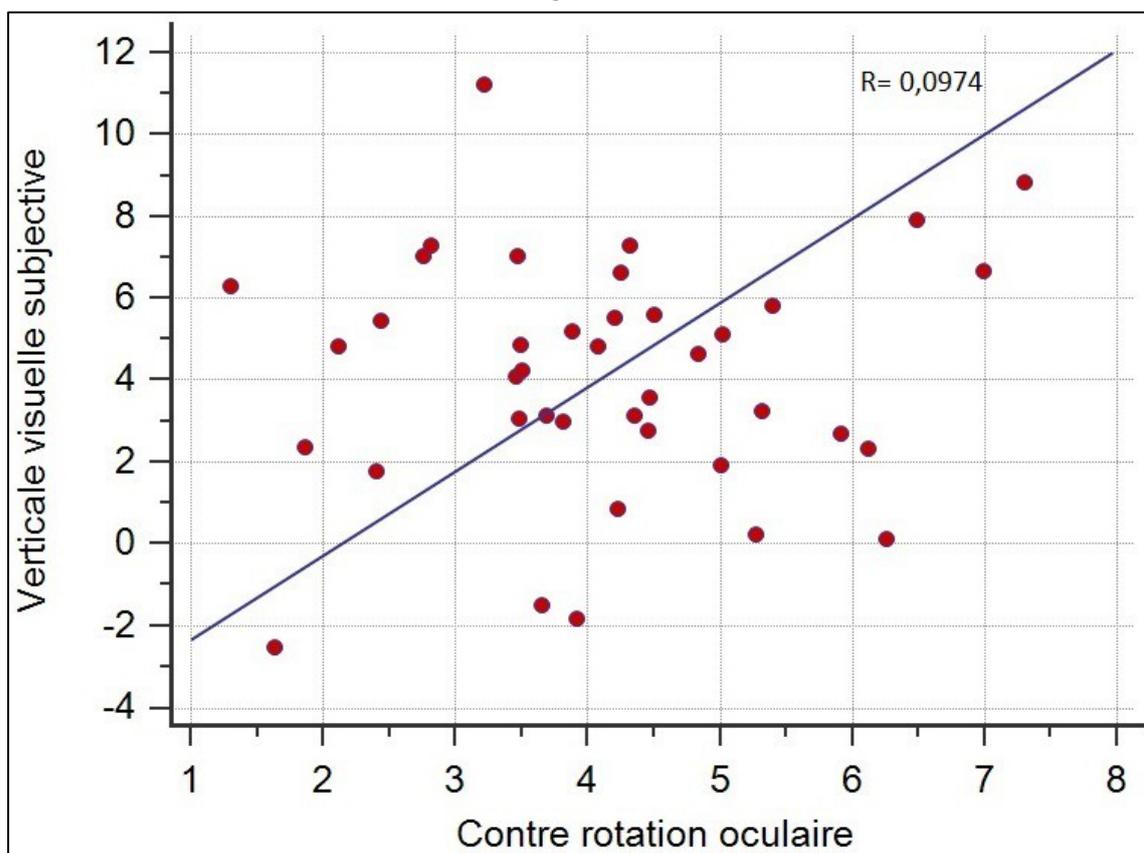


Fig.43 : Représentation graphique sous forme d'un nuage de points, de la corrélation entre la contre rotation oculaire et la verticale visuelle subjective tête inclinée lorsque la tête est inclinée à gauche et le laser incliné de  $+30^\circ$  vers la droite.

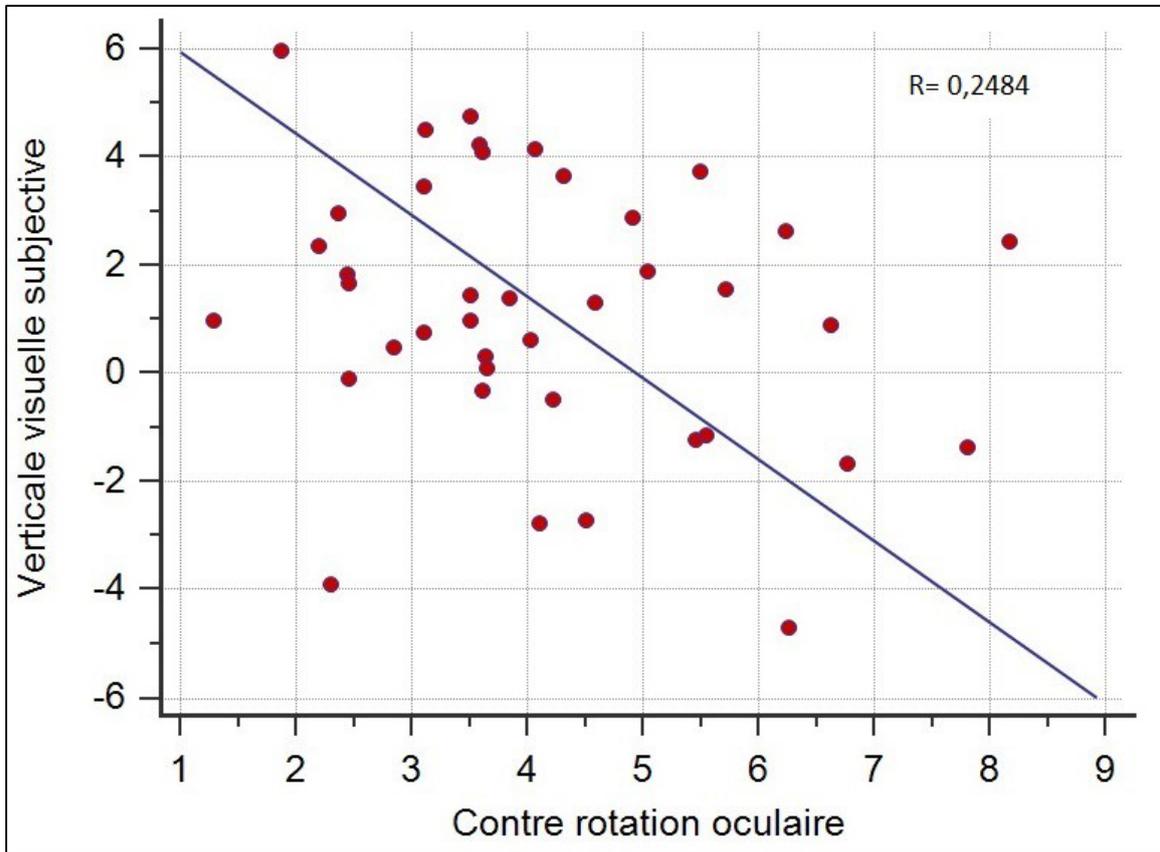


Fig.44 : Représentation graphique sous forme d'un nuage de points, de la corrélation entre la contre rotation oculaire et la verticale visuelle subjective tête inclinée lorsque la tête est inclinée à droite et le laser incliné de +30° vers la droite.

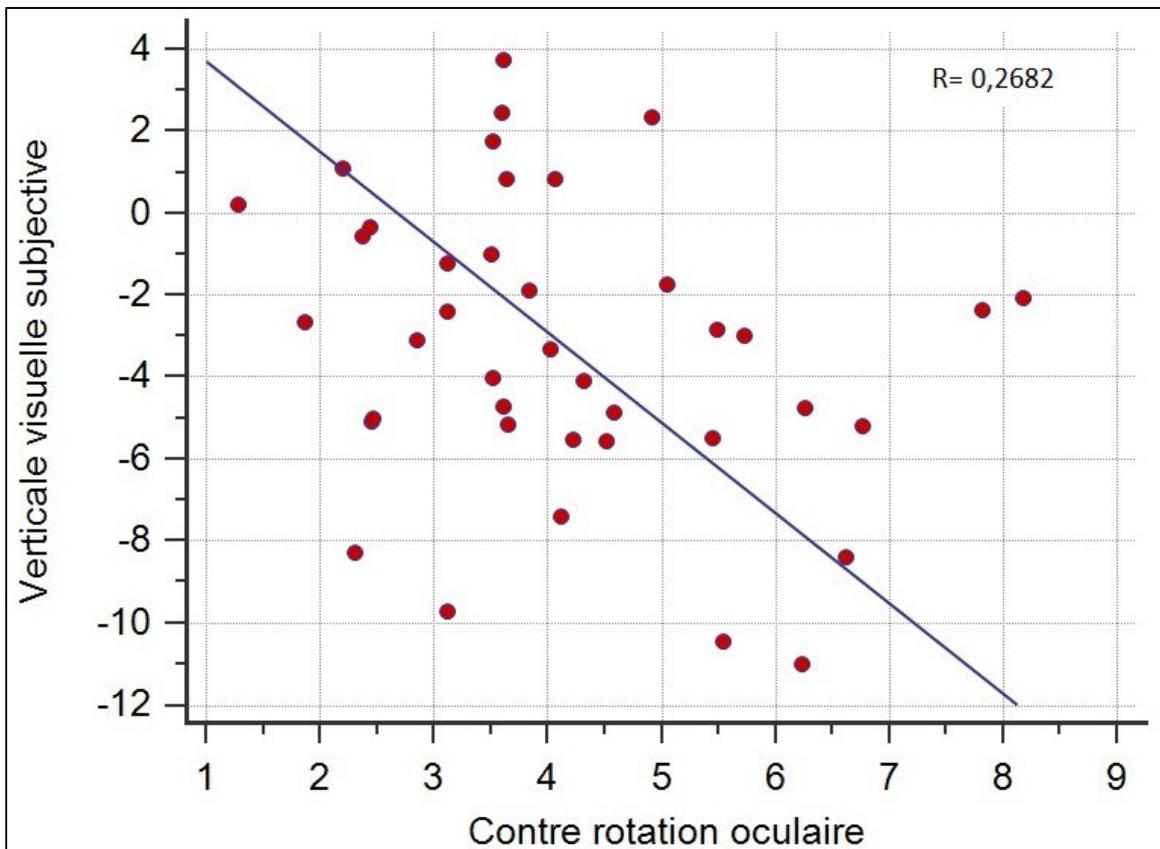


Fig.45 : Représentation graphique sous forme d'un nuage de points, de la corrélation entre la contre rotation oculaire et la verticale visuelle subjective tête inclinée lorsque la tête est inclinée à droite et le laser incliné de -30° vers la gauche.

		<i>P</i>	R calculé	R théorique
Tête inclinée à gauche	CRO – Laser G	0.0721	0.2875	0.3125
	CRO – Laser D	0.5499	0.0974	
Tête inclinée à droite	CRO – Laser D	0.1222	0.2484	
	CRO – Laser G	0.0943	0.2682	

Tab.4 : Tableau récapitulatif des résultats issus des tests de corrélation de Bravais-Pearson.

	Moyenne		Variance		Comparaison des tranches d'âges 18-45 et 46-71	
	G1 (18-45 ans)	G2 (46-71 ans)	18-45 ans	46-71 ans	Test F de Fisher-Snedecor	Test t de Student
CROG	4,34	3,62	2,13	1,59	P= 0.646 F= 1.3411	P= 0.1594 t= -1.435 (dl=38)
CROD	4,37	3,56	2,62	2,26	P= 0.845 F= 1.1605	P=0.1625 t= -1.424 (dl=38)

Tab.5: Tableau récapitulatif des résultats issus des tests de Fisher-Snedecor et de Student relatif à la contre rotation oculaire.

		Moyenne		Comparaison des tranches d'âges 18-45 et 46-71	
		G1 (18-45 ans)	G2 (46-71 ans)	Test F de Fisher-Snedecor	Test t de Student (dl=38)
VVSSI (tête inclinée à gauche)	Laser à gauche	0.14	-1.56	P= 0.332 F= 1.5752	P=0.1413 T= 1.502
	Laser à droite	4.11	4.31	P=0.534 F=1.3362	P=0.8557 T=0.183
VVSSI (tête inclinée à droite)	Laser à droite	1.03	1,61	P=0.308 F=1.6564	P=0.4826 T=0.709
	Laser à gauche	-3,00	-3,91	P=0.052 F=3.8574	P=0.5077 T=0.669

Tab.6 : Tableau récapitulatif des résultats issus des tests de Fisher-Snedecor et de Student relatif à la VVS tête inclinée.

De plus, les tests de Fisher et de Student réalisés ont montré que les moyennes et les variances respectives de la CRO et de la VVSSI ne sont pas statistiquement égales au risque 5% de se tromper ( $p < 0,05$ ).

En revanche sur l'ensemble de la population, lorsque la tête et le laser sont inclinés de manière controlatérale, l'amplitude moyenne de la CRO est statistiquement égale à l'amplitude moyenne de la déviation de la verticale ( $p > 0,05$ ).

## 6. Evolution de la contre rotation oculaire en fonction de l'âge

Les tests de Fisher-Snedecor récapitulés dans le tableau ci-joint (tab.5) montrent que la variance de la contre rotation oculaire des sujets âgés de 18 à 45 ans, et la variance des sujets âgés de 46 à 71 ans n'est pas significativement différentes ( $p > 0,05$ ).

Les tests de Student récapitulés dans le tableau ci-joint (tab.5) montrent que les moyennes de la contre rotation oculaire pour chacune des deux tranches d'âges ne sont pas significativement différentes et que par conséquent la CRO ne semble pas significativement influencée par l'âge au risque 5% de se tromper ( $p > 0,05$ ).

Malgré une différence non significative entre les deux groupes (18-45 ans et 46-71 ans), on remarque tout de même graphiquement une certaine diminution de la CRO avec l'âge (fig.46).

## 7. Evolution de la VVS et de la VVSSI en fonction de l'âge

Comme pour la CRO nous avons cherché à savoir s'il y avait une différence significative entre les variances et les moyennes des deux groupes représentant les deux tranches d'âges (18-45 ans et 46-71 ans). Les résultats issus du test de Fisher et du test de Student nous indiquent que les variances et les moyennes de ces deux échantillons ne sont pas significativement différentes ( $p > 0,05$ ) au niveau de confiance à 95% (tab.6). Ceci signifie que la verticale visuelle subjective tête en rectitude (VVS) et la verticale visuelle subjective en situation d'inclinaison (VVSSI) ne semblent pas sensiblement affectées par l'âge.

Tout comme la CRO, on constate cependant graphiquement que la déviation de la verticale a tendance à augmenter avec l'âge (fig.47).

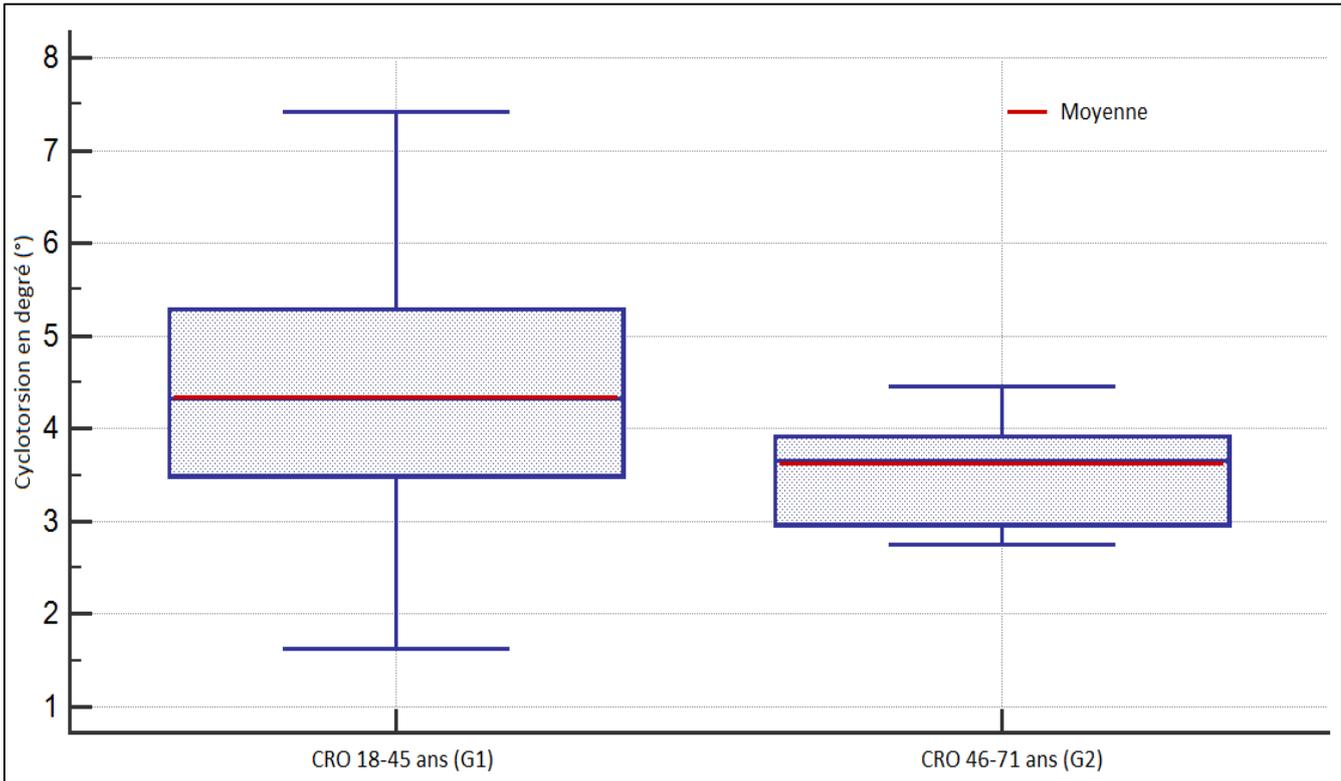


Fig.46 : Diagramme en boîte de Tukey représentant la contre rotation oculaire en fonction des deux différentes tranches d'âge. G1 correspond à la tranche d'âge des 18-45 ans et G2 à la tranche d'âge des 46-71 ans.

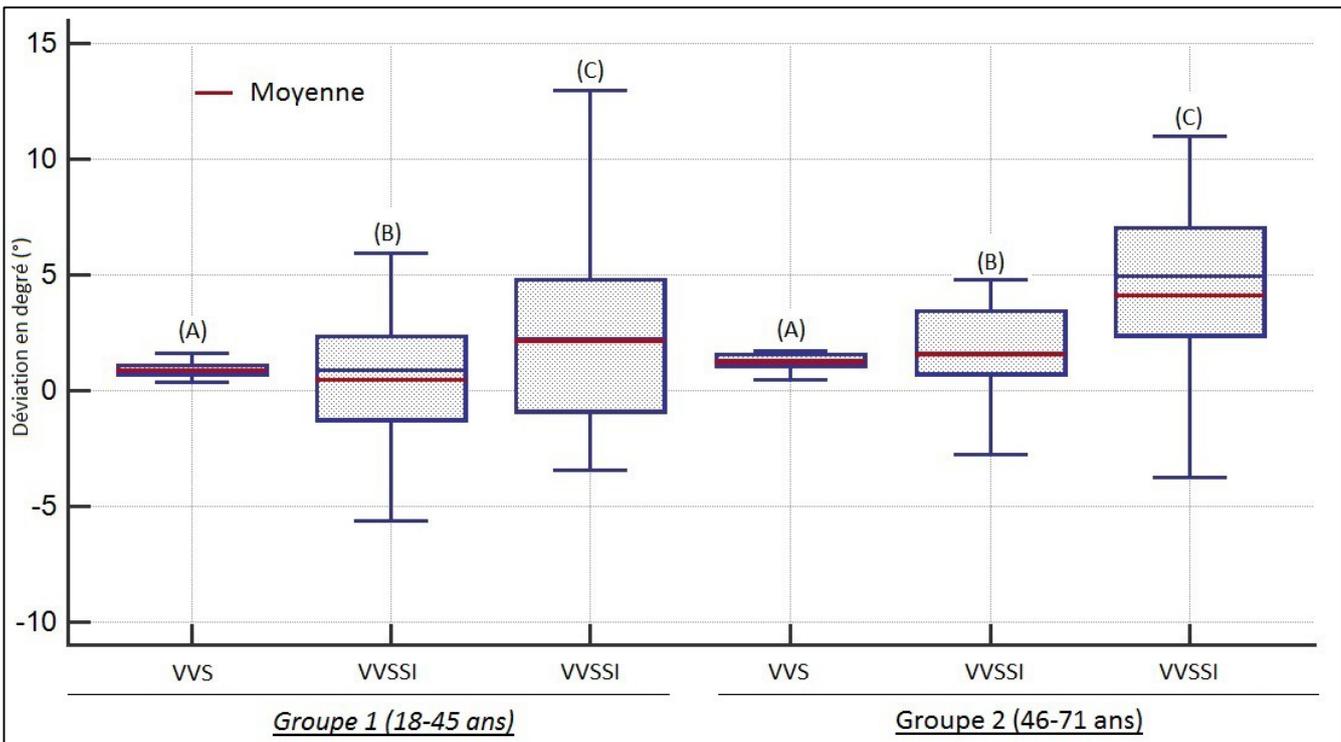


Fig.47 : Diagramme en boîte de Tukey représentant la déviation de la verticale chez les 18-45 ans et les 46-71 ans en fonction des conditions d'évaluation. (A) représente la VVS tête en rectitude. (B) représente la VVSSI tête et laser parallèles en position de départ. (C) représente la VVSSI tête et laser antiparallèles en position de départ.

## V. DISCUSSION

### 1. Interprétation des résultats

#### 1.1. Discussion des résultats

L'hypothèse de départ était que la perception de la verticale pouvait être corrélée à la contre rotation oculaire. Les résultats présentés précédemment et récapitulés dans le tableau ci-joint en annexe (cf : Annexe 10) ont montré une faible corrélation voire l'absence de corrélation directe entre la perception de la verticale et la contre rotation oculaire. Cela signifie que la VVSSI n'évolue pas de manière linéaire en fonction de la CRO et que par conséquent un sujet présentant une CRO élevée n'aura pas nécessairement une meilleure perception de la verticale et inversement. De plus si l'on compare l'écart-type de la CRO (1,51) et l'écart-type de la VVSSI (2,94), on constate qu'ils sont significativement différents ( $p < 0,05$ ) et que par conséquent ces deux variables ne varient pas dans les mêmes proportions. Malgré tout, on constate que l'amplitude moyenne de l'effet Muller ( $3,71^\circ$  de déviation moyenne ) et l'amplitude moyenne de la CRO ( $4,15^\circ$ ) sur l'ensemble de notre échantillon ne sont significativement pas différentes au risque 5% de se tromper ( $p > 0,05$ ), ceci est en accord avec d'autres études réalisées non pas sur la perception de la verticale mais sur la perception de l'horizontal qui montrent des amplitudes similaires entre la CRO moyenne et la déviation moyenne de la verticale à l'échelle d'une population ; cependant ce résultat ne se retrouve pas individuellement (*De Graaf, 1992 ; Wade, 1997*).

Ce constat peut laisser sous-entendre une certaine intrication entre la contre rotation oculaire et l'effet-Muller. Le fait que la VVS ne soit pas proportionnellement corrélée à la CRO ne signifie pas que la CRO ne joue aucun rôle dans la perception de la verticalité mais que d'autres variables viennent moduler cette perception. D'après une étude menée en 2009 par des chercheurs suisses, il a été démontré que suite à l'inclinaison du corps de  $45^\circ$  et  $75^\circ$  dans le plan frontal, la variabilité de la CRO était corrélée à la variabilité de la VVS.

En d'autres termes, ils ont montré que lorsque la variabilité intra-essai de la CRO augmente alors la variabilité intra-essai de la VVS augmente (*Tarnutzer, 2009*).

Au premier abord ces résultats paraissent très intéressants, cependant ce n'est pas parce que ces deux variables évoluent dans le même sens qu'elles sont nécessairement dépendantes l'une de l'autre. En effet, nous savons que la VVS tout comme la CRO mesurées indépendamment l'une de l'autre présentent une forte variabilité et que leur variabilité

# DISCUSSION

présentent une réelle tendance à augmenter avec l'inclinaison (voir bibliographie précédente).

De notre côté nous n'avons pas observé ce phénomène suite à une inclinaison de 30°.

Une possible explication, serait que suite à une faible inclinaison (seulement 30°), il n'y ait pas de facteur de proportionnalité entre ces deux variables. Notre hypothèse serait que dans des conditions d'inclinaison physiologique d'autres variables viendraient interférer avec la CRO lors de l'estimation de la verticale. De plus, compte tenu de la forte variabilité de ces deux variables et du faible nombre de sujets au sein de leur étude (n=6), il est important de préciser que leur étude présente une faible puissance statistique.

Des études ont montré que l'estimation de la verticale pouvait être perturbée par des conditions extérieures au sujet comme par exemple la présence d'un cadre visuel dans les champs de vision du sujet (*Mars, 2005*) ou encore des stimulations optocinétiques qui dévient la perception de la verticale dans le sens de son orientation (horaire ou anti-horaire) en induisant un défilement de la scène visuelle (*Guerraz, 1998*).

La littérature nous apporte des renseignements supplémentaires, puisque dans un certain nombre d'articles il a été démontré que les informations somato-sensorielles jouent un rôle dans la perception de la verticale. Ces études ont montré que des atteintes périphériques sensorielles (patient paraplégique) ou d'origine centrale (hémiplégie notamment) pouvaient perturber notre perception de la verticale et augmenter sa variabilité (*Barra, 2010; Anastasopoulos, 1999*).

Une autre étude réalisée en 1997 a montré que les patients atteints d'une lésion vestibulaire unilatérale présentaient une déviation importante de la verticale visuelle subjective alors que leur perception de la verticale posturale était comparable à celle des sujets sains (*Anastasopoulos, 1997*).

Au final il est clair qu'un certain nombre de facteurs influencent notre perception de la verticale, et notre étude confirme ceci en montrant que la perception de la verticale ne dépend pas exclusivement de la contre rotation oculaire et donc du système otolithique, mais d'un ensemble d'informations sensorielles de types visuel, somesthésique et vestibulaire formant un système « *bottom-up* ». Très récemment, une étude a montré qu'en parallèle de ce système « *bottom-up* » il existerait un système « *top-down* » qui permettrait de moduler notre perception de la verticale, via un ensemble de processus cognitifs de haut niveau (*Barra, 2013*). Parallèlement à cela nous savons aussi que le thalamus joue un rôle important dans la construction de notre représentation de la verticale.

En effet le thalamus permettrait à la fois de relayer les informations d'origine vestibulaire et somesthésique mais aussi d'intégrer l'ensemble de ces informations (*Barra, 2013*).

## 1.2. Concordance des résultats avec la littérature

Parallèlement à la discussion précédente, nous avons constaté une CRO tête inclinée à gauche égale  $4,14^\circ \pm 0,22^\circ$  (erreur type) et une CRO tête inclinée à droite égale à  $4,15^\circ \pm 0,25^\circ$ , ce qui rapporté à une inclinaison cervicale de  $30^\circ$  nous donne un gain de  $0,14^\circ$  de CRO par degré d'inclinaison cervicale, ceci est en accord avec ce que l'on peut trouver dans la littérature (*Groen, 1995 ; Diamond, 1983 ; Clarke, 2007*). Notre étude a révélé l'existence d'une *torsion oculaire résiduelle* moyenne (CRO gauche et droite confondues) de  $1,28 \pm 0,11$ . Plus précisément, suite à l'inclinaison gauche de la tête, on retrouve une *torsion résiduelle* moyenne de  $1,38 \pm 0,17$  et une *torsion résiduelle* moyenne de  $1,15 \pm 0,11$  après inclinaison droite. Cela signifie qu'après avoir incliné la tête, lorsque celle-ci revient en position initiale, l'œil lui ne revient pas en position initiale et reste en partie « bloqué » en contre rotation. Si l'on considère maintenant l'œil droit (l'œil qui a été filmé dans 78% des cas), on retrouve une incycloduction résiduelle de  $1,11^\circ \pm 0,13^\circ$  et excycloduction résiduelle de  $1,42^\circ \pm 0,14^\circ$ .

Si l'on compare nos résultats à ceux de l'étude menée par *Palla et al en 2005*, on constate que nos résultats sont comparables aux leurs malgré le fait que leurs valeurs soient modérément plus élevées que les nôtres. Cette différence non significative ( $p < 0,05$ ) pourrait s'expliquer par le fait que leur population soit relativement faible ( $n=8$ ) et que leurs expérimentations se soient déroulées dans des conditions différentes des nôtres.

Par ailleurs notre hypothèse sur ce phénomène est que cette *torsion résiduelle* soit d'origine statique, en effet via la vidéonystagmoscopie on constate que ce phénomène persiste 10 secondes après que la tête soit revenue en rectitude. De plus le fait que cette *torsion résiduelle* soit retrouvée lorsque la tête est inclinée par rapport au corps (le cas dans notre étude) et également lorsque le corps est incliné dans sa globalité (*Palla, 2005*) renforce notre idée que ce phénomène soit d'origine otolithique et nous permet d'affirmer avec quelques réserves cependant, que ce phénomène ne tire pas son origine de la proprioception cervicale.

Nos résultats n'ont pas montré une diminution significative de l'amplitude de la CRO avec l'augmentation de l'âge ( $p > 0,05$ ), cependant on constate tout de même une diminution de 18% de la CRO dans le groupe des personnes âgées de 50 à 71 ans.

# DISCUSSION

Ces résultats sont en accord avec d'autres études qui montrent que la CRO a tendance à diminuer avec l'âge, malgré une faible significativité statistique (*Serrador, 2009*). Enfin contrairement à l'étude menée par *Schworm et al en 2002* nos résultats n'ont pas montré de différences significatives entre la CRO tête inclinée à gauche et la CRO tête inclinée à droite puisque que l'on retrouve respectivement une CRO de  $4,14^\circ \pm 0,22$  contre une CRO de  $4,15^\circ \pm 0,25$ . Ceci pourrait s'expliquer par le fait que notre étude comptait une population bien plus importante (40 sujets contre 5 sujets), ce qui compte tenu de la forte variabilité de la CRO inter-individuelle (*Wade, 1997 ; Kingma, 2006*) peut expliquer qu'ils aient peut-être conclu « à tort » l'existence d'une différence de contre rotation oculaire.

Par rapport à la verticale visuelle subjective, notre étude a aussi mis en évidence l'existence de l'effet Muller, qui nous le rappelons est une déviation de la verticale dans le sens opposé à l'inclinaison de la tête. Lorsque la tête est inclinée à gauche on retrouve un effet Muller de  $4.16^\circ \pm 0,48^\circ$  et un effet Muller lorsque la tête est inclinée à droite de  $-3.25^\circ \pm 0,38^\circ$ . Par ailleurs nous avons mis en évidence que si la position de départ du laser est parallèle à l'axe de la tête et du cou alors l'effet Muller est supprimé. En effet, si la tête et le laser sont inclinés du même côté en position de départ (tête et laser parallèles), on retrouve une déviation de  $-0,33^\circ \pm 0,43^\circ$  tête inclinée à gauche et une déviation de  $1,19^\circ \pm 0,56^\circ$  tête inclinée à droite. On considère que l'effet Muller est supprimé car, les déviations constatées dans ces conditions ne sont pas significativement différentes de zéro et des valeurs mesurées tête en rectitude ( $p > 0,05$ ).

Cela avait déjà été mis en évidence par deux autres études (*Hoppenbrouwers, 2004 ; Saeys, 2010*), ainsi nos résultats sont en accord avec la littérature et ne font que conforter l'existence de cet effet Muller et la possibilité de rendre ce phénomène à néant lorsque la tête (ou le corps) et le laser (ou la barre lumineuse) sont relativement parallèles.

Enfin la perception de la verticale ne semble pas être fortement affectée par l'âge. Notre étude n'a pas montré de différences significatives entre la perception de la verticale chez les 18-45 ans et la perception de la verticale chez les 46-71 ans, malgré une augmentation moyenne de la déviation allant de 4 à 23%. Nos résultats semblent être en accord avec ceux trouvés dans une autre étude (*Kobayashi, 2002*), cependant nous émettons des réserves sur ces observations puisque notre groupe représentant les 46-71 ans ne compte que 11 sujets. Il est admis par la communauté scientifique qu'avec l'âge on observe un phénomène de presbyvestibulie au niveau des canaux semi-circulaire (*Ulmer, 2007*). Sachant cela, il est raisonnable de penser qu'un phénomène semblable puisse se produire au niveau

du système otolithique. D'après ce que nous savons la VVS ne semble pas significativement altérer pas l'âge, c'est pourquoi nous émettons l'hypothèse qu'un certain nombre de compensations centrales se mettent progressivement en place au cours du vieillissement. La perception de la verticale étant pluri-sensorielle, il est raisonnable de penser que ce phénomène de compensation centrale soit du au fait que le cerveau utilise de manière prépondérante les informations d'origines visuelle, et somato-sensorielle pour modéliser la verticale lors du vieillissement.

## 2. Limites et Biais relatifs à l'étude clinique

Dans cette partie nous allons nous intéresser aux différents biais et limites que nous avons relevés et qui seraient susceptibles d'avoir influencé nos résultats.

### 2.1. *Les principaux biais de mesures*

Tout d'abord lors de la mesure de la contre rotation oculaire (CRO) et l'estimation de la verticale visuelle subjective en situation d'inclinaison (VVSSI) nous avons mesuré la contre rotation oculaire de chaque sujet en leur inclinant la tête successivement sur la droite gauche et sur la droite. Le fait d'incliner la tête des sujets par rapport à leur corps et non pas tout le corps en entier, met en jeu la notion de proprioception cervicale. Il nous est impossible de déterminer dans quelle proportion le paramètre de proprioception cervicale a pu influencer de manière conjointe les deux variables qui sont la CRO et la VVS. Cependant d'après ce que nous savons, il n'y a pas de différence significative entre l'amplitude de la CRO tête inclinée et l'amplitude de la CRO corps inclinée (*Zingler, 2006*). Les travaux de *Zingler et al.*, nous permettent donc de nous affranchir de ce biais en ce qui concerne la CRO.

Dans l'idéal, il aurait été judicieux de mesurer la CRO et VVS en inclinant le corps du sujet de 30° via un système d'inclinaison corps entier. Ce système qui consiste à asseoir le sujet dans un « fauteuil » et à l'incliner dans le plan frontal a déjà été utilisé dans d'autres études, notamment dans une étude visant à déterminer l'impact de l'AVC sur l'estimation de verticale visuelle subjective et sur la verticale posturale (*Pérrenou, 2008*).

Un deuxième biais identifié, est le fait que les mesures de la CRO et de la VVS, ont été faites dans des positions différentes à savoir en position assise dans un fauteuil dans l'obscurité pour la CRO et debout dans l'obscurité pour l'estimation de la VVS. Il était

# DISCUSSION

nécessaire pour nous que la mesure de la CRO soit effectuée en position assise, afin de limiter les risques d'excentration de la tête par rapport au corps.

Pour l'estimation de la VVS, nous avons considéré lors de la réalisation du protocole que le fait que le patient soit debout permettait de limiter les afférences sensibles et proprioceptives. De plus la perception de la verticale ayant un rôle primordial dans le maintien de la station debout bi-podal, il nous paraissait intéressant d'évaluer la VVS debout tête inclinée.

Un troisième biais identifié, est le fait que la durée d'inclinaison de la tête ne soit pas la même lors de la mesure de la CRO et de la VVS tête inclinée. En effet pour la CRO la durée d'une inclinaison était de 15 secondes tandis que lors de l'estimation de la verticale la durée moyenne de l'inclinaison de la tête était de 5 minutes (durée nécessaire à la prise des huit mesures). Il est difficile de dire si cette différence de durée lors des deux tests a réellement influencé ou non les résultats. Deux études ont montré que lorsque la tête était placée en inclinaison dans le plan frontal (30°, 45° ou 90°) sur une période allant jusqu'à deux heures, la CRO dans l'obscurité totale ne variait pas de manière significative (Nomura, 2000 ; Yashiro, 1996). Une autre étude a montré quant à elle qu'après un laps de temps de 5 minutes, la déviation de la verticale était moins importante et que par conséquent le sujet avait une meilleure perception de la verticale après un temps d'adaptation (Tarnutzer, 2014). Par conséquent il est difficile de dire si oui ou non ce paramètre a eu une influence sur notre étude.

Un quatrième biais identifié est le fait que la CRO soit calculée manuellement à l'aide d'un logiciel de traitement d'images. Il est nécessaire de prendre en compte le fait que le calcul soit réalisé manuellement par un opérateur et non pas automatiquement par un système informatique et un logiciel dédié à cet effet. Dans l'idéal il aurait été plus pratique d'utiliser un logiciel de calcul de la contre rotation oculaire, cependant nous n'avions pas ce logiciel à disposition. Malgré cela, les résultats des tests de Fischer-Snedecor et de Student montrent que les variances et les moyennes de la CRO tête inclinée à gauche et tête inclinée à droite ne sont pas statistiquement différentes ( $p > 0,05$ ).

De plus, les résultats montrent qu'en moyenne la variance intra-essai de la CRO est de 1,20 pour la contre rotation tête inclinée à gauche et de 1,25 pour la contre rotation tête inclinée à droite, ce qui est relativement faible compte tenu d'une torsion résiduelle moyenne de  $1,28^\circ \pm 0,11$  et du fait que nos résultats soient en accord avec ce que l'on peut trouver dans la littérature. Par conséquent, il est fort peu probable que notre système de calcul manuel ait pu biaiser les résultats de notre étude.

## 2.2. *Biais secondaires non significatifs*

D'autres biais ont été relevés, mais n'ont pas attiré notre attention car ils ne semblaient pas interférer de manière significative avec l'étude. Parmi ces biais on peut citer :

- Le fait que durant l'estimation de la VVS la tête soit uniquement maintenue en position d'inclinaison par le sujet lui-même. L'inclinaison était vérifiée toutes les quatre mesures et la série de mesures était validée si et seulement si l'inclinaison de la tête était de  $30^\circ \pm 2^\circ$ . Par conséquent nous avons considéré ce biais comme étant peu significatif.
- Le fait que lors de la mesure de la CRO, le passage d'une inclinaison à une autre soit effectué de manière activo-passive et à une vitesse plus ou moins constante par l'opérateur. Une étude (*Zingler, 2006*) a montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre l'amplitude de la CRO tête inclinée passivement et l'amplitude de la CRO tête inclinée activement.

## 3. Intérêt et perspectives de notre étude

### 3.1. *Intérêt*

L'objectif principal de notre étude était de déterminer si la contre rotation oculaire était corrélée à la déviation de la verticale lors du test de la VVS. Notre étude en a conclu qu'il n'y avait pour ainsi dire aucune corrélation linéaire entre ces deux variables.

Au vu des recherches que nous avons effectuées, il semblerait que nous soyons les seuls à avoir démontré cela en ce qui concerne la perception de la verticale (en effet une étude avait déjà fait ce constat pour la perception de l'horizontal) (*De Graaf, 1992*). Parallèlement au fait que nous soyons les seuls à avoir véritablement démontré l'absence de corrélation entre la CRO et la VVS, la seule étude dont l'objectif se rapprochait du notre était celle de *Tarnutzer et al en 2009*, dont l'objectif était de démontrer la corrélation entre la variabilité intra-essai de la CRO et la variabilité intra-essai de la VVS sur une population de 6 sujets.

De plus notre étude a permis d'apporter des précisions sur le phénomène de *cyclotorsion* oculaire résiduelle. En effet comme nous l'avons expliqué précédemment, la comparaison de nos résultats à ceux de l'étude menée par *Palla et al en 2005*, nous permet d'avancer

que cette *cyclotorsion* ne dépend pas de la proprioception cervicale et permet de renforcer l'hypothèse selon laquelle la *torsion résiduelle* serait d'origine otolithique. Parallèlement à cela, nous avons confirmé la théorie selon laquelle il était possible de supprimer l'effet Muller et donc de percevoir la verticale tête inclinée de la même manière que tête en rectitude.

Enfin la CRO représentant le fonctionnement du système otolithique, le fait de ne pas trouver de corrélation entre elle et la VVS implique que d'autres informations qu'otolithiques viennent influencer la perception de la verticale. En effet comme nous l'avons vu précédemment, la littérature tend à rapporter que la perception de la VVS semble pluri-sensorielle. Par conséquent sachant cela, il n'est pas absurde de se demander si le test de la VVS est suffisamment spécifique et sensible pour évaluer le système otolithique et s'il ne serait pas plus judicieux d'évaluer le système otolithique par d'autres tests.

### 3.2. *Perspectives*

Nous avons permis via cette étude de montrer que la perception de la verticale n'était pas directement corrélée à la contre rotation oculaire. A l'avenir il pourrait être intéressant que d'autres chercheurs reprennent nos travaux, afin de réaliser des études complémentaires sur cette problématique de manière à confirmer nos résultats. Pour cela, il serait intéressant d'évaluer la contre rotation oculaire et la verticale visuelle subjective lorsque le corps est entièrement incliné. Nous ne pouvons que conseiller aux potentiels chercheurs d'utiliser un système semblable à celui utilisé par *Perennou et al en 2008*, de manière à pouvoir véritablement s'affranchir de la proprioception cervicale.

De la même manière, nous conseillons aux potentiels chercheurs de recruter à la fois des sujets sains et à la fois des sujets présentant des pathologies vestibulaire (pathologie candidate à définir), de manière à créer au moins deux groupes afin de confronter les résultats obtenues chez les sujets sains aux résultats obtenues chez les sujets considérés comme « pathologique ».

## VI. CONCLUSION

En conclusion, notre étude a permis de démontrer l'absence de corrélation linéaire entre la contre rotation oculaire et la déviation de la verticale. Au vu des informations tirées de la littérature et de nos propres observations, nous pouvons en conclure que la perception de la verticale et la perception de l'environnement qui nous entourent dépendent d'un ensemble d'informations vestibulaire, proprioceptive et extéroceptive. Actuellement, il est difficile de déterminer le degré d'implication de chaque type d'information dans la modélisation de la verticale et sa représentation.

Le fait de ne trouver aucune corrélation linéaire entre l'amplitude de la CRO et l'amplitude de la déviation de la VVS signifie que le test de la VVS n'évalue pas de manière spécifique le système otolithique mais évalue la perception de la verticale dans sa globalité. La contre rotation oculaire étant en majeure partie dépendante du système otolithique, il pourrait être intéressant qu'à l'avenir, la communauté scientifique effectue des travaux d'études afin d'approfondir le sujet à ce propos. En effet avec les systèmes de vidéonystagmoscopie et de vidéonystagmographie dont nous disposons actuellement il serait plus qu'intéressant et bénéfique pour les thérapeutes d'établir un protocole et un test reproductible pour évaluer le système otolithique via le phénomène de contre rotation oculaire.

Malgré l'absence de corrélation entre la CRO et la VVS, le test de la verticale visuelle subjective, reste un excellent test facile à mettre en œuvre (contrairement au test de la verticale posturale) pour évaluer la perception de la verticale. Selon moi le test de la VVS et l'évaluation de la CRO sont deux examens complémentaires puisque respectivement, l'un évalue la perception globale de la verticale et l'autre explore le système otolithique. Par conséquent, il me semble évident que ces deux tests combinés permettraient d'évaluer de manière plus précise les stratégies visant à modéliser notre propre verticale.

Pour finir, je rappellerai seulement que le système otolithique, organe si petit et pourtant pas moins indispensable, est d'une importance capitale dans la vie de tous les jours. En effet, c'est lui qui en partie nous permet de nous maintenir en position érigée, de marcher, de conduire et d'effectuer toutes autres tâches en lien avec l'environnement qui nous entoure. Tellement discret et au rôle souvent insoupçonné par le commun des mortels, lorsque ce système devient défaillant, c'est tout notre environnement et la perception de celui-ci qui est perturbé.

---

# ANNEXES

---

---

# SOMMAIRE DES ANNEXES

---

Annexe I : *Tests évaluant la fonction otolithique*

Annexe II : *Fiche de renseignements*

Annexe III : *Formulaire de consentement éclairé*

Annexe IV : *Le Head Shaking Test*

Annexe V : *Le Video Head Impulse Test*

Annexe VI : *Méthode de calcul de l'amplitude de la contre rotation oculaire*

Annexe VII : *Table des valeurs critiques du R de Bravais-Pearson*

Annexe VIII : *Table de Shapiro-Wilk*

Annexe IX : *Diagrammes Q-Q plot de distribution statistique*

Annexe X : *Tableau récapitulatif des principaux résultats*

Annexe XI : *Attestation de production d'autorisations écrites*

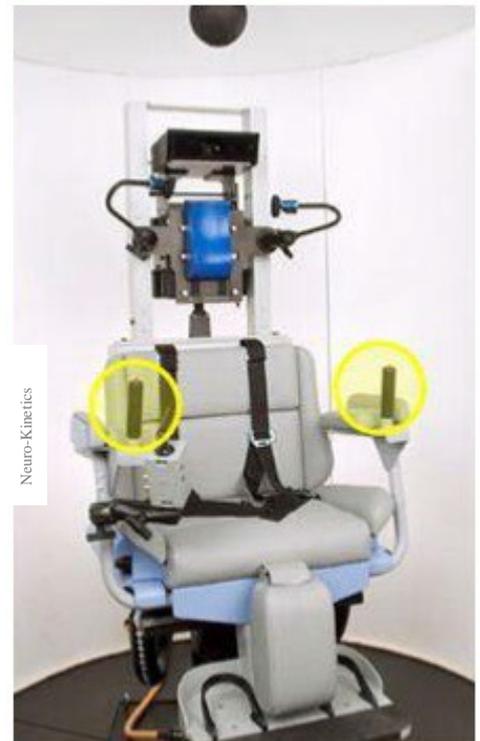
# ANNEXE I

## Tests évaluant la fonction otolithique

### Off Vertical Axis Rotation Test (OVAR)

L'OVAR Test associé à des lunettes de videonystagmoscopie permet d'évaluer la fonction otolithique de l'oreille interne en analysant la réponse nystagmique faisant suite à la stimulation induite par la rotation du fauteuil motorisé à vitesse constante.

Déroulement de l'examen : Le patient est assis dans un fauteuil et maintenu par des ceintures de sécurité. On place un masque de videonystagmoscopie sur ces yeux de manière à pouvoir enregistrer les nystagmus provoqués par la stimulation. Au début de l'examen et tant que la vitesse de rotation n'est pas constante, les nystagmus observés ne sont pas d'origine otolithique mais d'origine canalaire et provoqués par l'accélération. Une fois que la vitesse de rotation devient constante, les nystagmus d'origine canalaire disparaissent et c'est à ce moment-là que l'on va incliner le fauteuil de 10 à 15° de manière à stimuler le système otolithique et plus particulièrement l'utricule. Une fois le fauteuil incliné et à vitesse constante, on va pouvoir observer les nystagmus d'origine otolithique (*Guyot, 2008*).



---

# ANNEXE I

---

## Dynamic Unilateral Centrifugation Test (DUC)

Le DUC Test, est un examen similaire à l'OVAR Test mis à part que l'axe de rotation du fauteuil est excentré d'un côté ou de l'autre de manière à stimuler le système otolithique unilatéralement. En d'autre terme, ce test permet d'isoler et d'évaluer les réponses nystagmique issues du système otolithique gauche ou droit. Associé au test de la VVS, ce test permet d'évaluer le fonctionnement des centres supérieurs tels que le thalamus ou le cortex vestibulaire.

## Les potentiels évoqué vestibulaire myogénique (VEMP)

Le VEMP Test, permet d'évaluer la fonction sacculaire du système otolithique, via le réflexe sacculo-collique et la voie sacculo-spinale. En effet, dans les années 50, il a été démontré que le saccule était sensible au son de forte intensité. Le principe est d'évaluer les contractions musculaires du muscle sterno-cléido-mastoïdien (SCM) du sujet, après que des clicks sonores de 100 dB lui aient été transmis unilatéralement via un casque audio à une fréquence de 5 Hz (*De Waele C et al, 2005*).

Concrètement, le patient est allongé en décubitus dorsal, des électrodes sont placées aux tiers supérieur des deux SCM, et enregistrent les contractions musculaires faisant suite aux clicks sonores délivrés par le casque. Ce sont ces contractions musculaires enregistrées suite aux clicks sonores qui seront interprétées pour évaluer le fonctionnement du saccule.



# ANNEXE IV

## Formulaire de consentement éclairé



### Formulaire de consentement éclairé :

En signant ce formulaire, je déclare que je consens à participer à l'étude «  
Corrélation entre la verticale visuelle subjective statique et la contre rotation oculaire ».

J'ai par ailleurs pris connaissance de toutes les informations données aux participants de la recherche et portant sur :

- son objectif, sa méthode et sa durée,
- les contraintes et risques éventuellement encourus,
- le bénéfice que je peux éventuellement en attendre,
- l'usage qui sera fait des résultats,

m'informant notamment du fait que :

- mon identité et mon adresse seront traitées de manière confidentielle,
- mes informations médicales et personnelles seront traitées de manières confidentielles,
- je peux demander à tout moment un complément d'information sur l'étude,
- je peux quitter l'étude à tout moment sur simple demande orale,
- je recevrai une copie du présent document, portant le nom et les coordonnées du [des] responsable[s] de la recherche.

Après avoir discuté librement et obtenu réponse à toutes mes questions, j'accepte de participer à cette étude. Mon consentement ne décharge pas les organisateurs de la recherche de leurs responsabilités. Je conserve tous mes droits garantis par la loi.

Participant ou responsable légal:

Responsable de la recherche :

Nom :

Nom : VINCENT

Prénom :

Prénom : Julian

Institution : Université Claude Bernard Lyon 1

Institut des Sciences et Techniques de la Réadaptation

Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie

Fait à

le

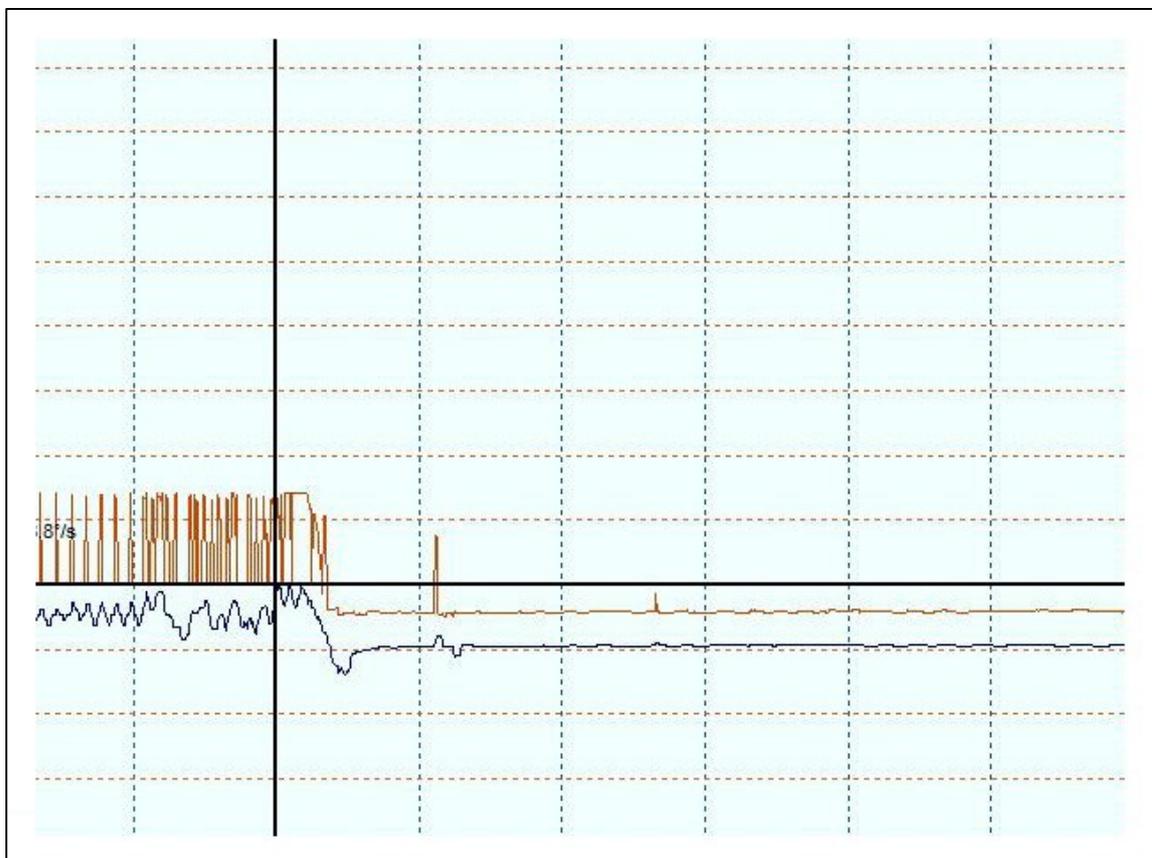
Signature :

Signature :

# ANNEXE IV

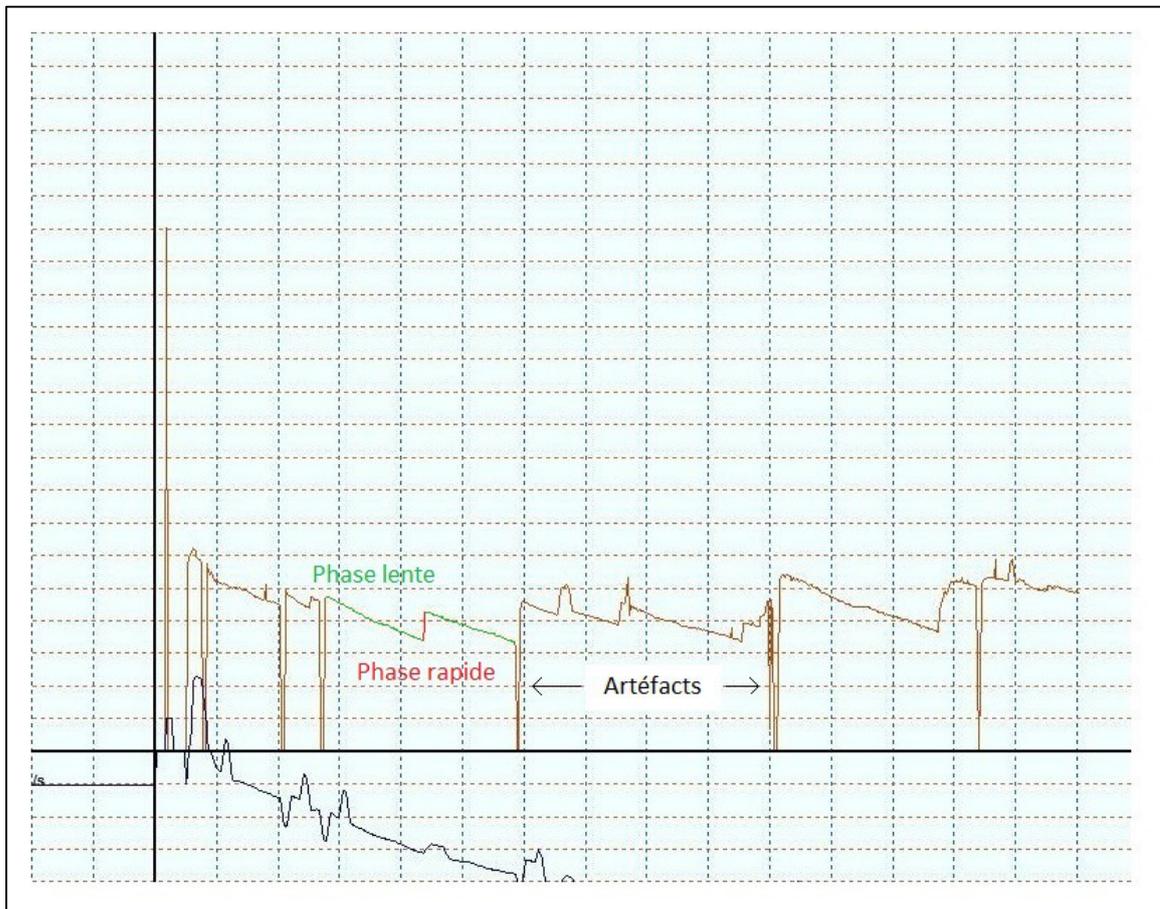
## Le Head Shaking Test

Le Head Shaking Test va permettre de mettre en évidence l'existence d'une éventuelle asymétrie de fonctionnement entre le système vestibulaire de l'oreille interne gauche et droite. Après avoir tourné la tête du patient dans le plan horizontal à une fréquence de 2Hz, nous allons observer via les lunettes de videonystagmoscopie si un nystagmus se déclenche. En parallèle de cette observation, via un logiciel de videonystagmographie, nous allons pouvoir objectiver la présence ou non de nystagmus.



La figure ci-dessus, représente le graphique issu d'un HST chez une personne ne présentant pas d'asymétrie de réponse vestibulaire. La courbe orange représente les mouvements oculaires lors de l'enregistrement. On constate que le tracé de la courbe orange est plat, et que par conséquent le sujet n'a pas produit de nystagmus à la suite de la stimulation. Le pic que l'on observe sur la courbe orange n'est qu'un artefact dû à un clignement de l'œil de la part du patient lors de l'enregistrement. La courbe bleue quant à elle représente la cumulé de position.

# ANNEXE IV



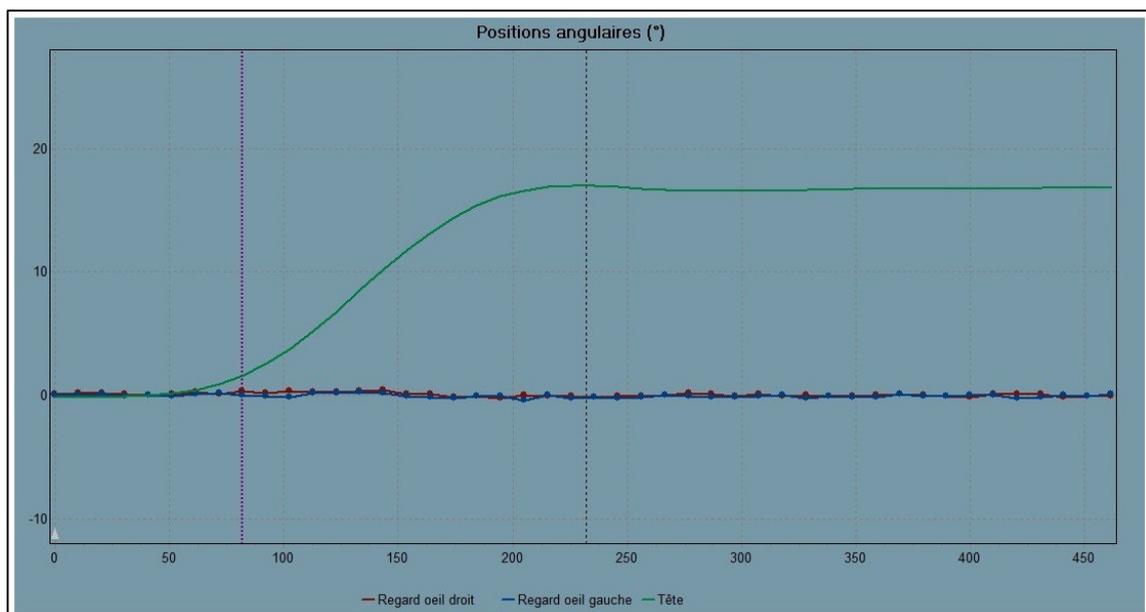
Le graphique ci-dessus, est le tracé typique d'un sujet présentant une asymétrie de réponse vestibulaire. On constate que la courbe orange présente une évolution en marche d'escalier. Concrètement, sur la courbe on peut observer les deux différentes phases qui caractérisent un nystagmus. En vert, est représentée la phase lente du nystagmus, c'est-à-dire le moment où l'œil se décentre « lentement » et en rouge la phase rapide de ce même nystagmus pendant laquelle on observe une saccade de recentrement automatique de l'œil. C'est cette succession de phase lente et de phase rapide qui fait que l'on obtient une courbe en « marche d'escalier ». Comme pour l'autre tracé, on peut observer un certain nombre d'artéfacts.

# ANNEXE V

## Le Video Head Impulse Test

Le Video Head Impulse Test est un examen permettant d'évaluer le fonctionnement des canaux semi-circulaires via le réflexe vestibulo oculaire. Le principe est le suivant, le patient est assis devant une caméra spécifique qui via un logiciel de « *tracking* », va suivre les mouvements oculaires lors des mouvements haute fréquence de la tête.

Par exemple, si l'on veut explorer les canaux semi-circulaires latéraux, on va alors demander au sujet de fixer le point situé au milieu des trois points noirs situé verticalement en face de lui. Suite à cela pendant que le sujet fixe ces trois points, nous allons mobiliser d'un coup sec (mobilisation haute fréquence) sa tête en rotation gauche ou droite dans le plan horizontal, de manière à stimuler les canaux horizontaux. A chaque fois que l'on mobilise la tête du patient en rotation, le logiciel va analyser les mouvements oculaires en fonction du mouvement de la tête et en déduire un gain. Théoriquement chez une personne saine, on considère que le gain du réflexe vestibulo-oculaire doit être égal à 1. Cela signifie, que lors du mouvement de la tête, les yeux ont totalement compensé le mouvement de manière à rester fixe sur la cible. En effet, le gain du réflexe vestibulo oculaire peut se définir comme étant le rapport entre l'amplitude du mouvement oculaire et l'amplitude du mouvement de la tête

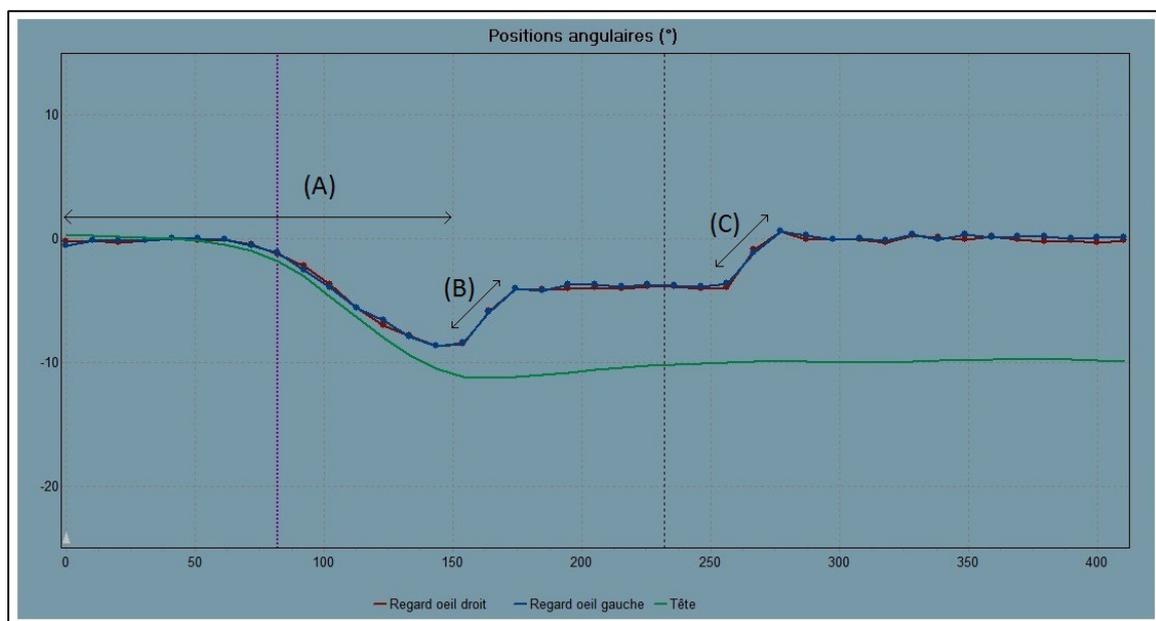


Le graphique ci-dessus, est directement tiré du logiciel dédié au VHIT. Sur ce graphique on peut remarquer trois courbes. La courbe verte représente les mouvements de la tête, la

# ANNEXE V

courbe bleue les mouvements oculaire de l'œil gauche et la courbe rouge les mouvements oculaires de l'œil droit. Ce qui est important d'observer sur ce graphique, c'est le fait que lorsque la tête est rapidement mobiliser en impulsion droite, les yeux eux restent fixés sur la cible et ne bouge pas.

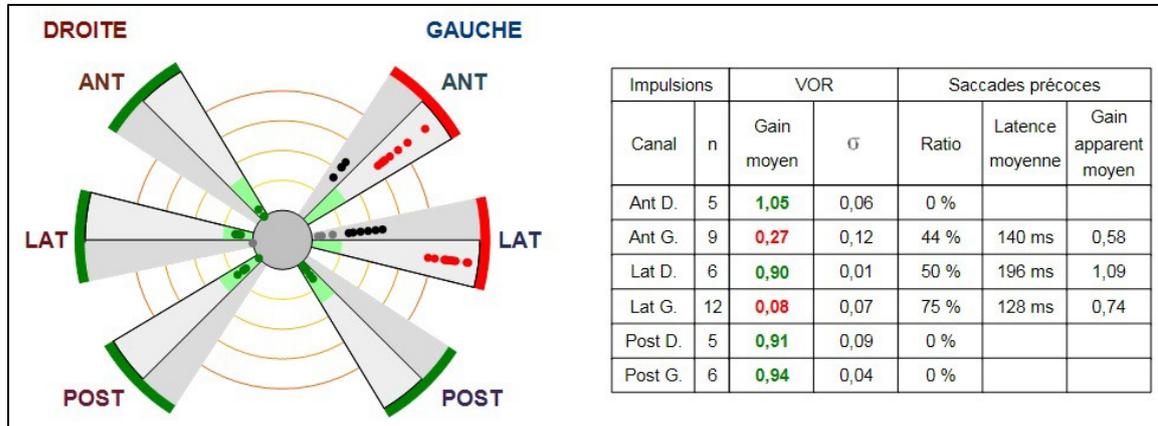
En effet on remarque sur ce graphique que les deux courbes bleu et rouge représentant les mouvements oculaires ne varient pas et se superpose à l'axe des abscisses. C'est typiquement le graphique que l'on retrouve chez une personne ne présentant pas de troubles du réflexe vestibulo-oculaire.



Le graphique ci-dessus, représente les mouvements oculaires d'un patient ayant une importante hyporéflexie suite à une névrite vestibulaire. Tout d'abord on s'aperçoit que les yeux ne restent pas fixés sur la cible mais suivent la tête durant les 150 première millisecondes (A). Concrètement cela est due au fait que le canal horizontal gauche est très hyporéflexique et que par conséquent le réflexe vestibulo-oculaire ne se produit pas. Ensuite on observe que les yeux ont tenté de rattraper la cible en compensant partiellement le mouvement de la tête (B) ; c'est ce que l'on appelle une « covert saccade ». Une covert saccade, est une saccade involontaire dont le but est de rattraper la cible (actuellement son origine n'a pas réellement été déterminée). Pour finir a partir de 260 millisecondes, on observe ce que l'on appelle une « overt saccade » ; cette overt saccade n'est autre qu'une

# ANNEXE V

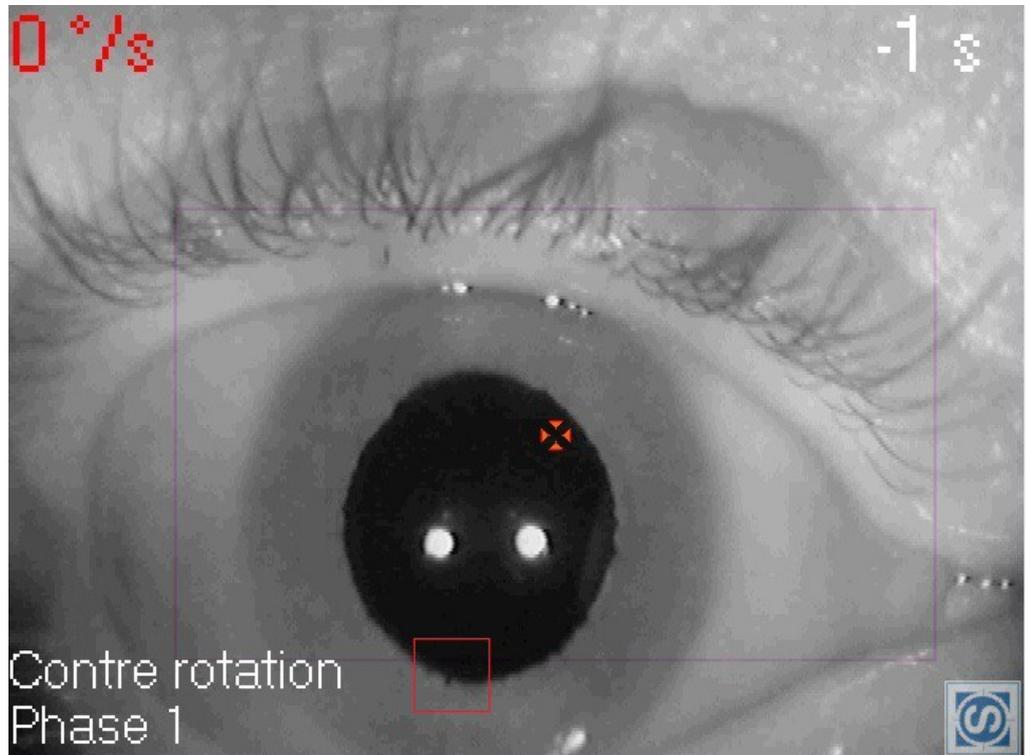
saccade volontaire pour rattraper la cible (le patient se rend compte qu'il ne fixe plus la cible et la rattrape volontairement).



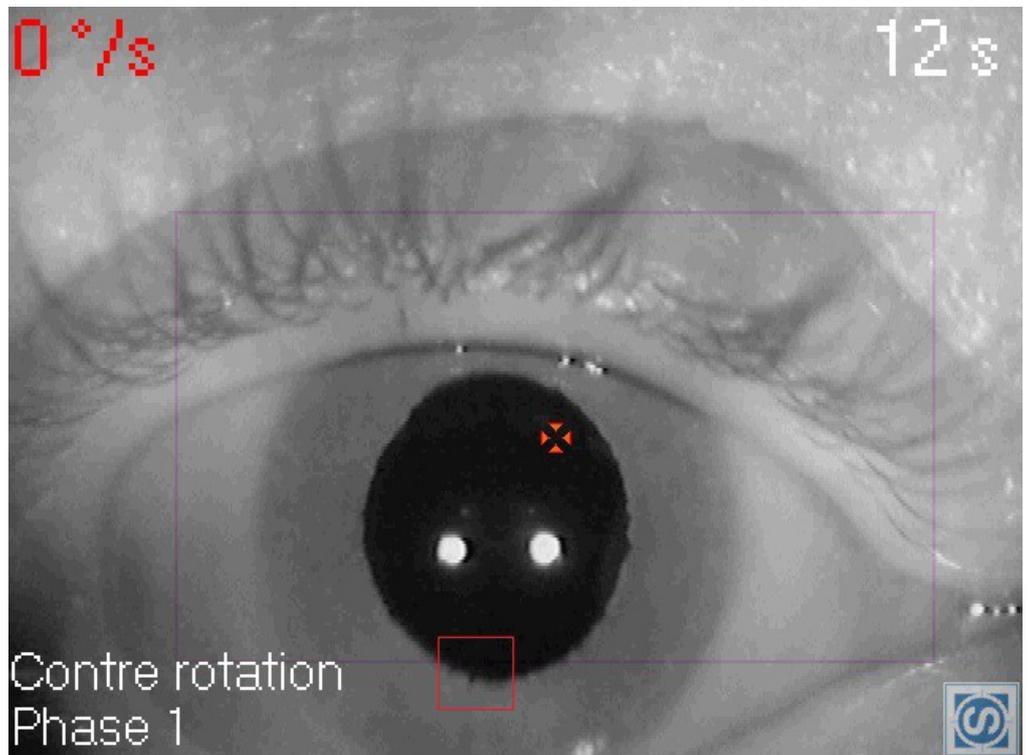
La figure ci-dessus est le canalogramme que l'on obtient à l'issue de l'examen. Il représente le fonctionnement de chacun des canaux et la qualité du réflexe vestibulo-oculaire. En vert ce sont les séquences pour lesquelles le réflexe vestibulo-oculaire présentait un gain satisfaisant (compris entre 0,70-1), en rouge celle présentant un gain insatisfaisant ( $< 0,70$ ) et en noire les covert-saccades.

# ANNEXE VI

## Méthode de calcul de l'amplitude de la contre rotation oculaire

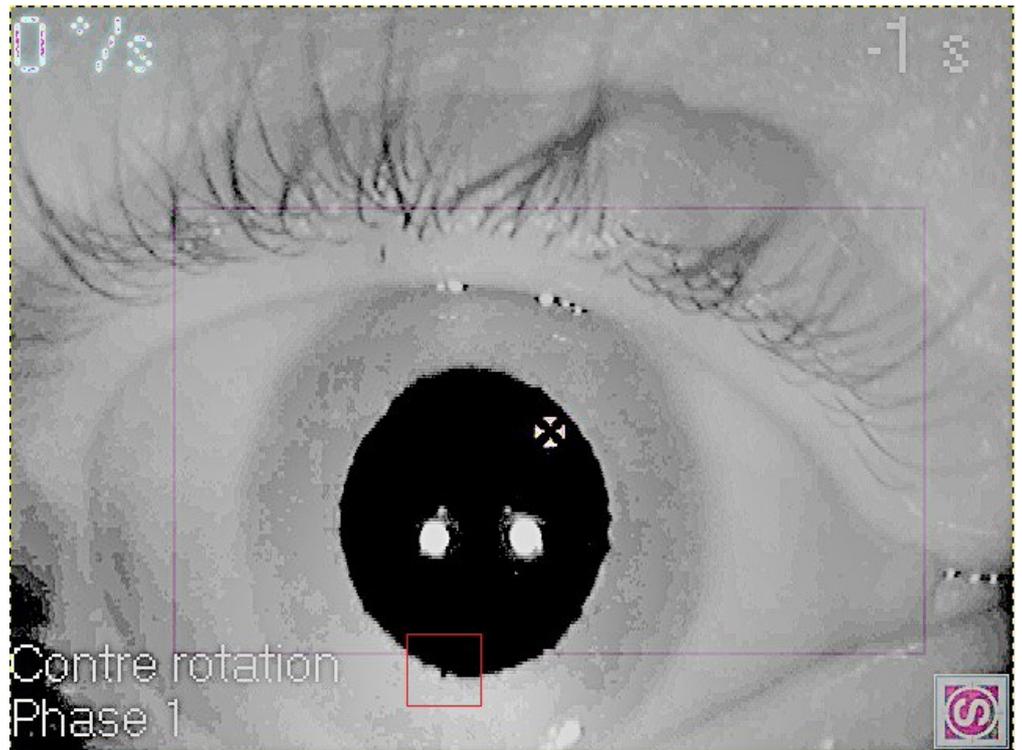


*Photographie de l'œil lorsque la tête est en rectitude et avant l'application du filtre rétinex.*

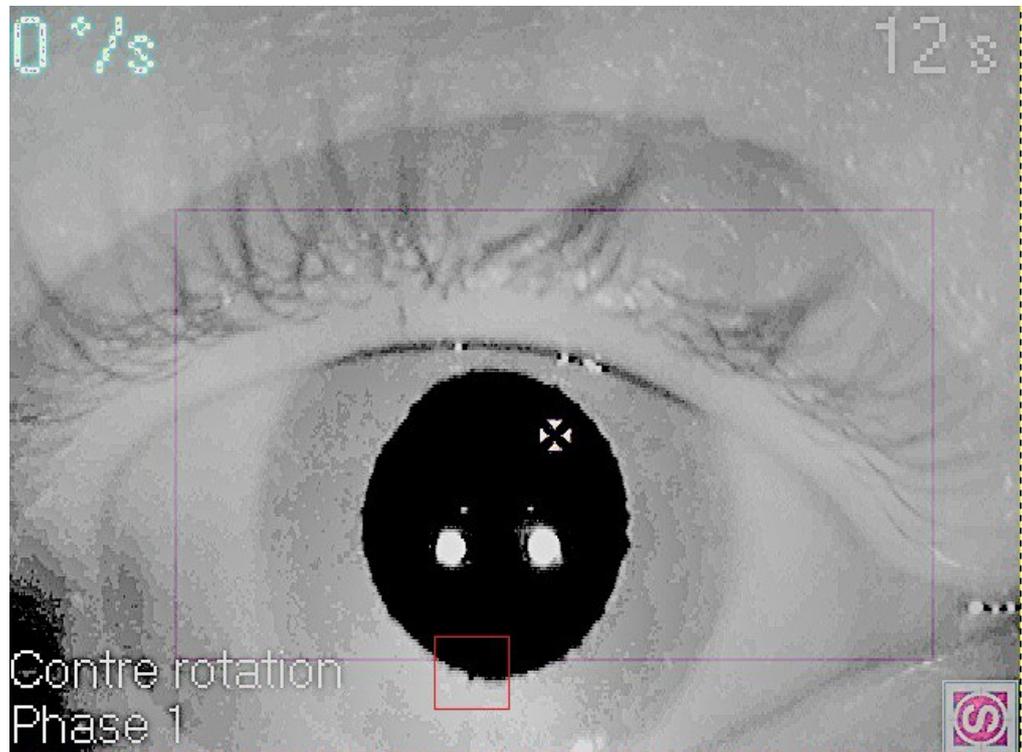


*Photographie de l'œil lorsque la tête est inclinée de 30° sur la gauche avant l'application du filtre rétinex*

# ANNEXE VI

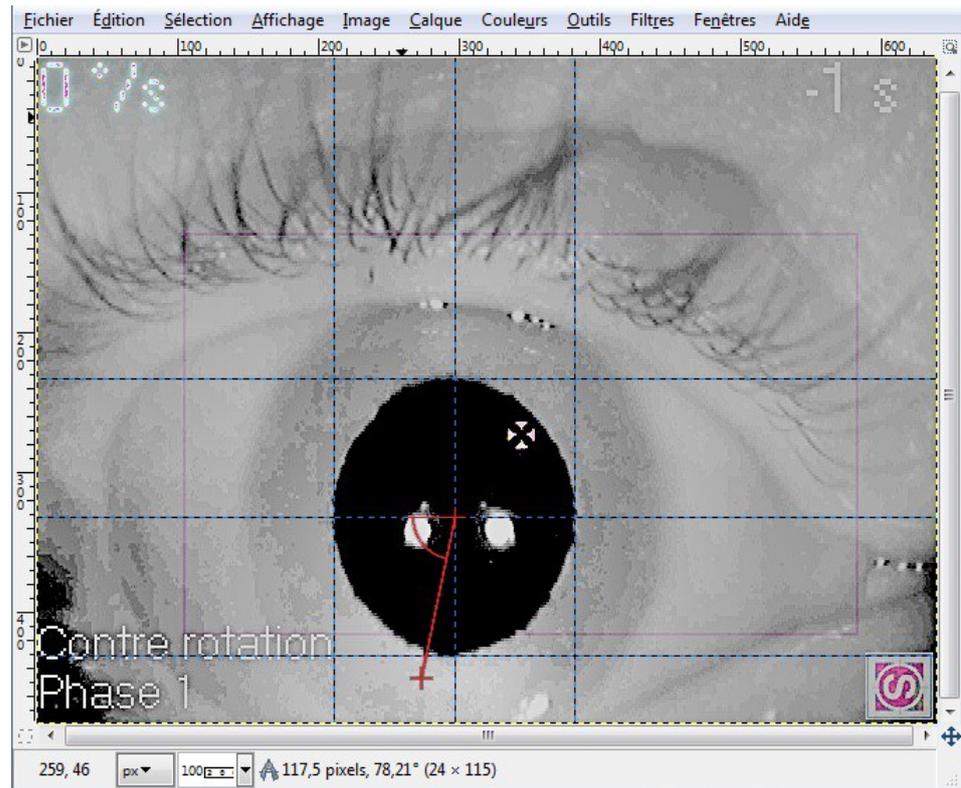


*Photographie de l'œil lorsque la tête est en rectitude après l'application du filtre rétine*

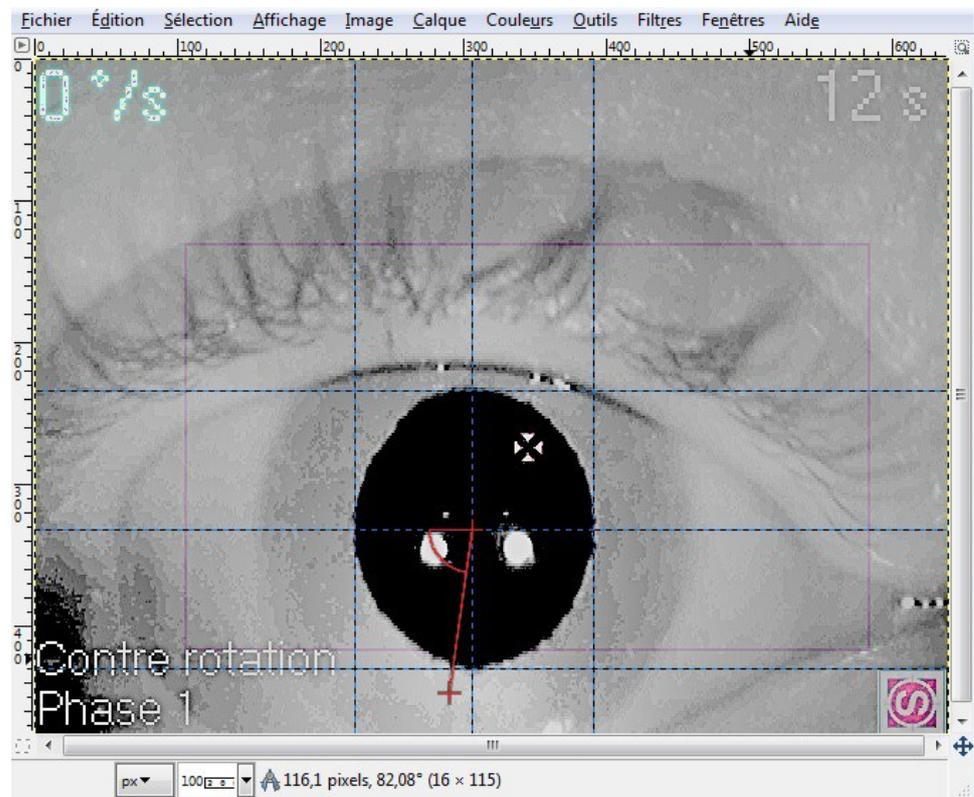


*Photographie de l'œil lorsque la tête est inclinée de 30° sur la gauche après l'application du filtre rétine*

# ANNEXE VI



Photographie de l'œil lorsque la tête est en rectitude. L'angle entre l'horizontale et la tache irienne est de **78,21°**.



Photographie de l'œil lorsque la tête est inclinée de 30° sur la gauche. L'angle entre l'horizontale et la tache irienne est de **82,08°**. En définitive la CRO est égale à la différence entre les deux angles soit

$$\boxed{82,08 - 78,21 = 3,87^\circ}$$

# ANNEXE VII

Table des valeurs critiques du R de Bravais-Pearson

ddl	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,001	0,0001	0,00001
1	0,9512	0,9878	0,9971	0,9997	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
2	0,8002	0,9002	0,9502	0,9802	0,9902	0,9992	1,0000	1,0000
3	0,6872	0,8055	0,8785	0,9345	0,9589	0,9913	0,9982	0,9997
4	0,6085	0,7294	0,8116	0,8823	0,9173	0,9742	0,9920	0,9976
5	0,5510	0,6696	0,7546	0,8330	0,8747	0,9510	0,9807	0,9924
6	0,5069	0,6216	0,7069	0,7889	0,8345	0,9251	0,9657	0,9842
7	0,4717	0,5824	0,6665	0,7499	0,7978	0,8984	0,9482	0,9734
8	0,4429	0,5495	0,6320	0,7156	0,7647	0,8723	0,9295	0,9608
9	0,4188	0,5216	0,6022	0,6852	0,7349	0,8472	0,9104	0,9470
10	0,3982	0,4974	0,5761	0,6582	0,7080	0,8235	0,8913	0,9324
11	0,3804	0,4763	0,5531	0,6340	0,6837	0,8011	0,8726	0,9176
12	0,3647	0,4577	0,5326	0,6122	0,6615	0,7801	0,8545	0,9027
13	0,3508	0,4410	0,5141	0,5924	0,6413	0,7605	0,8370	0,8879
14	0,3384	0,4261	0,4975	0,5744	0,6227	0,7421	0,8203	0,8734
15	0,3273	0,4125	0,4823	0,5579	0,6057	0,7248	0,8043	0,8593
16	0,3171	0,4002	0,4684	0,5427	0,5899	0,7086	0,7890	0,8455
17	0,3079	0,3889	0,4557	0,5287	0,5752	0,6933	0,7744	0,8322
18	0,2994	0,3785	0,4439	0,5157	0,5616	0,6789	0,7604	0,8193
19	0,2915	0,3689	0,4330	0,5035	0,5489	0,6654	0,7471	0,8068
20	0,2843	0,3600	0,4229	0,4922	0,5369	0,6525	0,7344	0,7948
21	0,2776	0,3517	0,4134	0,4817	0,5258	0,6404	0,7223	0,7832
22	0,2713	0,3439	0,4045	0,4717	0,5153	0,6289	0,7107	0,7720
23	0,2654	0,3367	0,3962	0,4624	0,5053	0,6179	0,6996	0,7612
24	0,2599	0,3299	0,3884	0,4536	0,4960	0,6075	0,6889	0,7508
25	0,2547	0,3234	0,3810	0,4452	0,4871	0,5976	0,6787	0,7408
26	0,2499	0,3174	0,3740	0,4373	0,4787	0,5881	0,6689	0,7311
27	0,2453	0,3116	0,3674	0,4298	0,4707	0,5791	0,6596	0,7217
28	0,2409	0,3062	0,3612	0,4227	0,4630	0,5705	0,6505	0,7127
29	0,2368	0,3010	0,3552	0,4159	0,4558	0,5622	0,6418	0,7040
30	0,2328	0,2961	0,3495	0,4095	0,4488	0,5543	0,6335	0,6955
31	0,2291	0,2915	0,3441	0,4033	0,4422	0,5467	0,6254	0,6874
32	0,2255	0,2870	0,3389	0,3974	0,4359	0,5394	0,6177	0,6795
33	0,2221	0,2827	0,3340	0,3917	0,4298	0,5323	0,6102	0,6718
34	0,2189	0,2787	0,3293	0,3863	0,4240	0,5256	0,6029	0,6644
35	0,2157	0,2748	0,3247	0,3811	0,4184	0,5190	0,5960	0,6572
36	0,2128	0,2710	0,3204	0,3761	0,4130	0,5128	0,5892	0,6502
37	0,2099	0,2674	0,3162	0,3713	0,4078	0,5067	0,5827	0,6435
38	0,2071	0,2640	0,3122	0,3667	0,4028	0,5009	0,5763	0,6369
39	0,2045	0,2606	0,3083	0,3622	0,3980	0,4952	0,5702	0,6306
40	0,2019	0,2574	0,3045	0,3579	0,3933	0,4897	0,5642	0,6244
50	0,1808	0,2308	0,2734	0,3219	0,3543	0,4434	0,5134	0,5708
60	0,1651	0,2110	0,2502	0,2950	0,3250	0,4080	0,4740	0,5289
70	0,1530	0,1955	0,2320	0,2738	0,3019	0,3799	0,4425	0,4949
80	0,1431	0,1831	0,2173	0,2567	0,2831	0,3570	0,4165	0,4666
90	0,1350	0,1727	0,2051	0,2424	0,2674	0,3377	0,3946	0,4427
100	0,1281	0,1639	0,1948	0,2302	0,2541	0,3212	0,3758	0,4221
200	0,0907	0,1162	0,1382	0,1637	0,1810	0,2300	0,2705	0,3054
300	0,0741	0,0950	0,1130	0,1340	0,1482	0,1886	0,2222	0,2513
400	0,0642	0,0823	0,0980	0,1161	0,1285	0,1637	0,1930	0,2185
500	0,0574	0,0736	0,0877	0,1040	0,1150	0,1466	0,1729	0,1959
1000	0,0407	0,0521	0,0621	0,0736	0,0815	0,1040	0,1227	0,1392

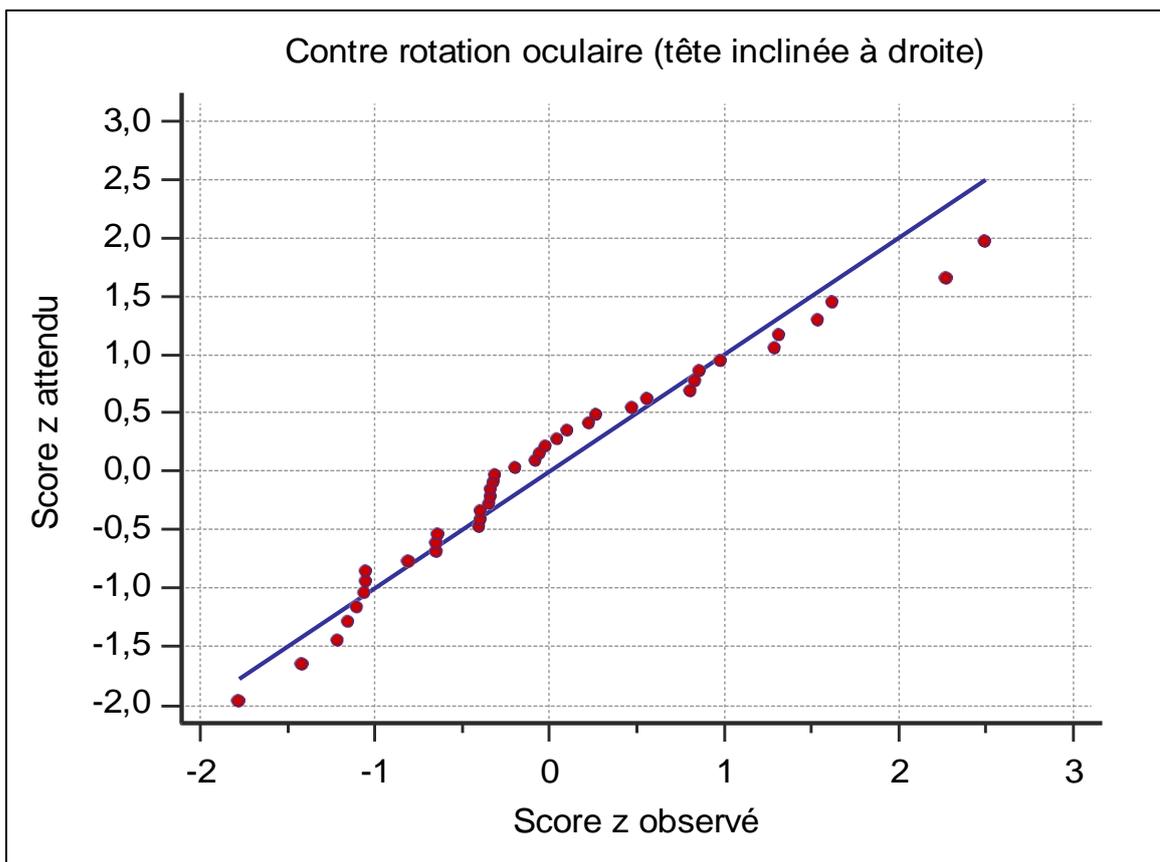
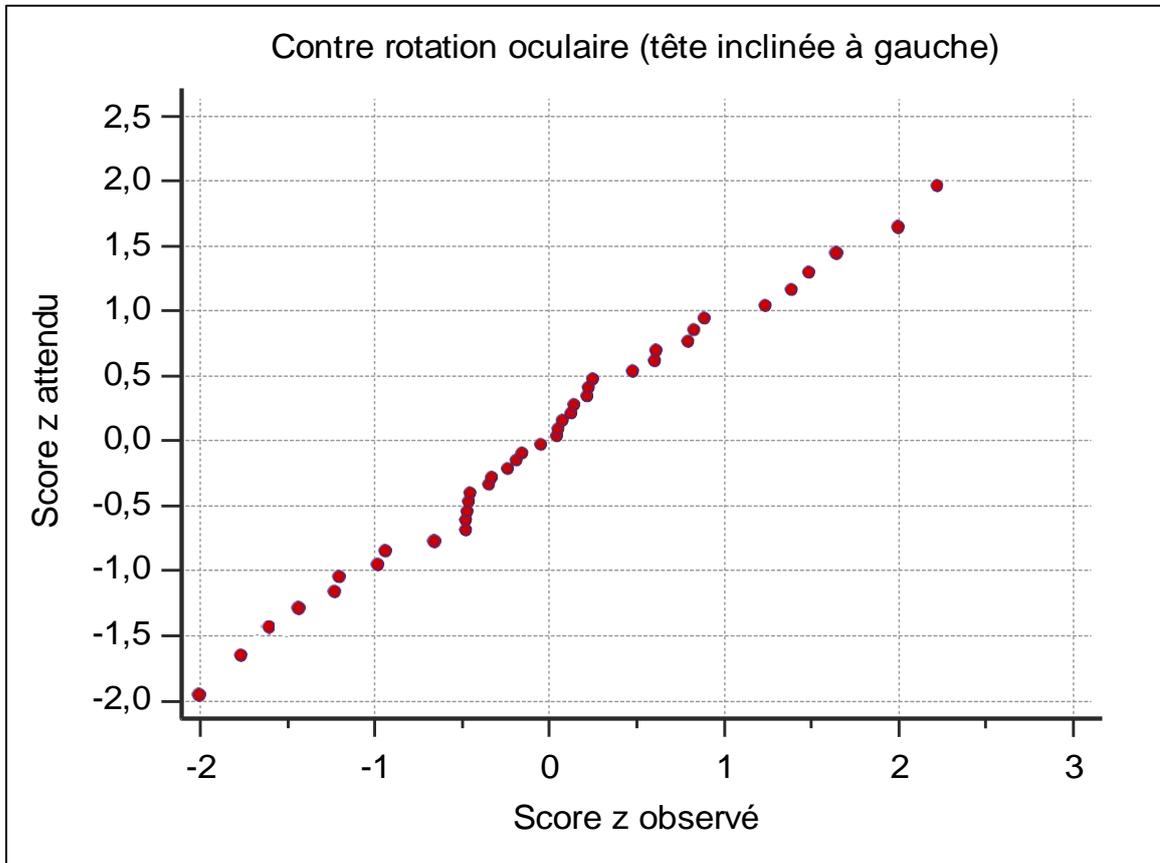
# ANNEXE VIII

## Table de Shapiro-Wilk

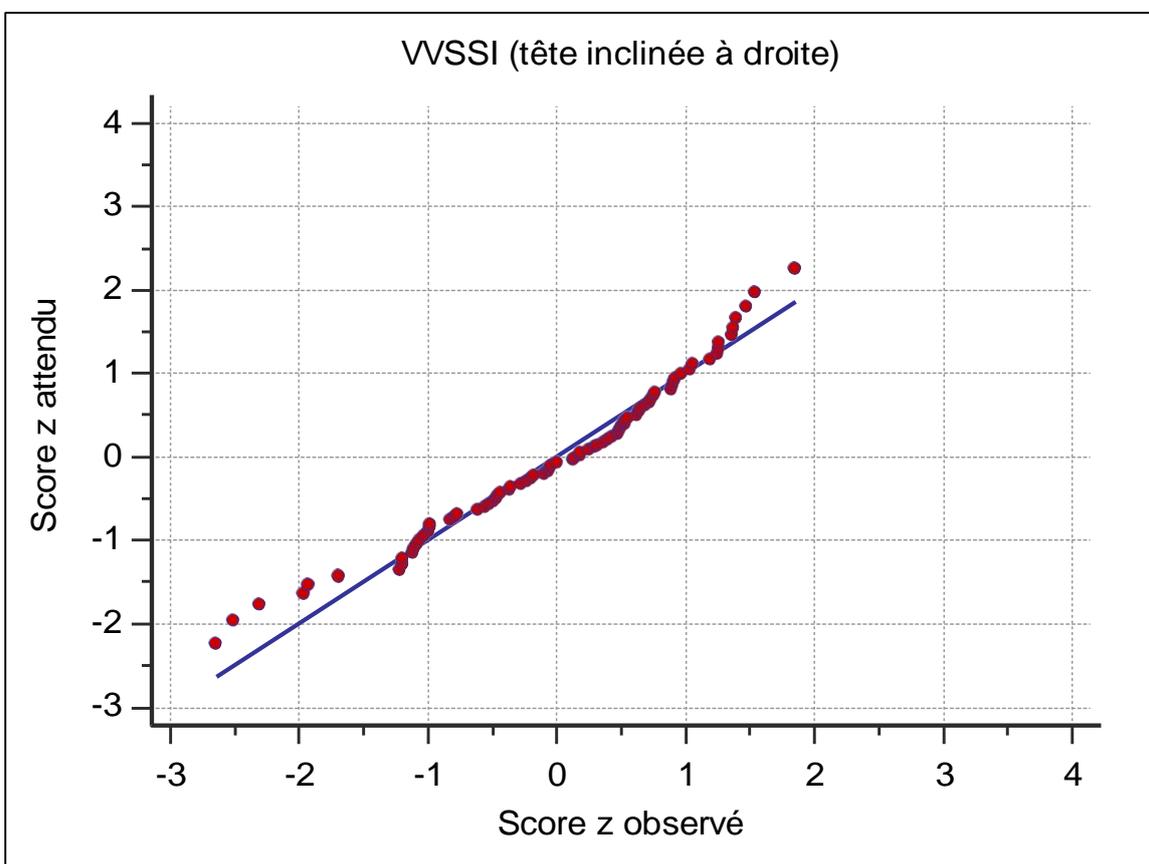
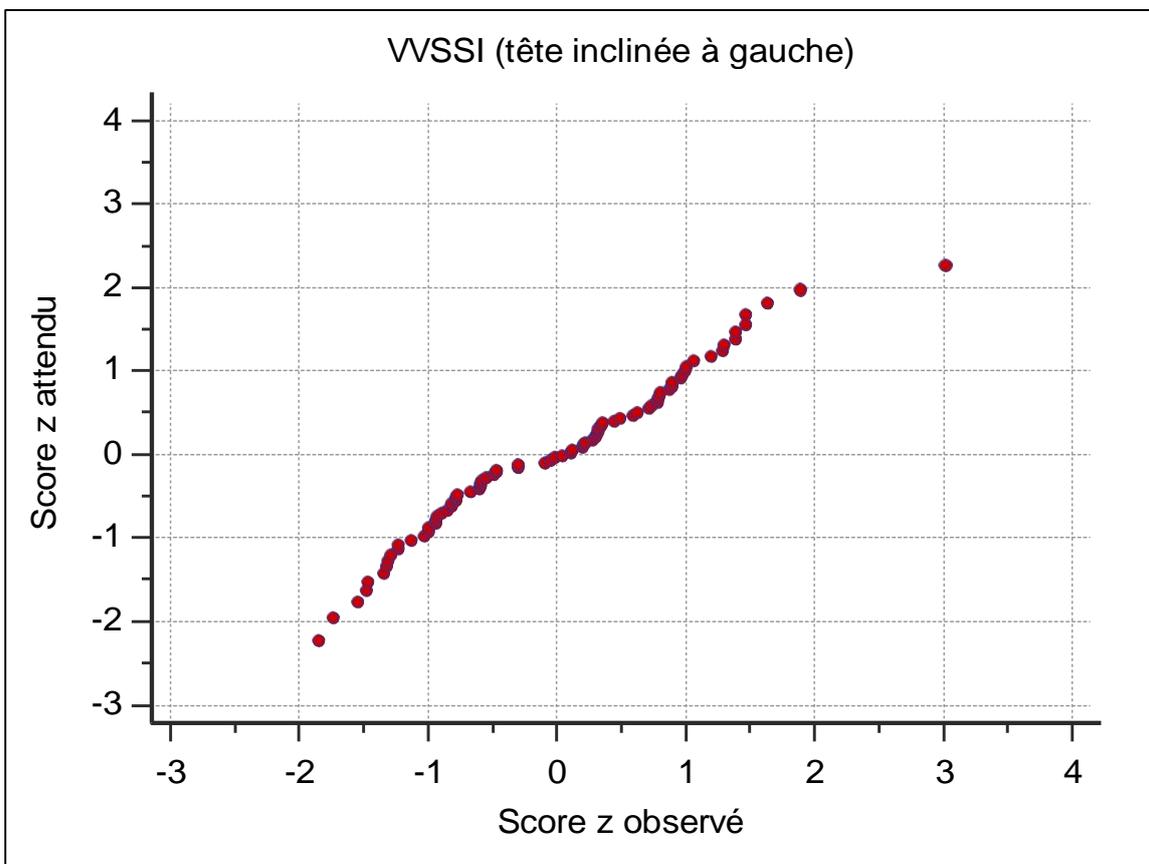
n \ P	0.01	0.02	0.05	0.1	0.5	0.9	0.95	0.98	0.99
3	0.753	0.756	0.767	0.789	0.959	0.998	0.999	1.000	1.000
4	0.687	0.707	0.748	0.792	0.935	0.987	0.992	0.996	0.997
5	0.686	0.715	0.762	0.806	0.927	0.979	0.986	0.991	0.993
6	0.713	0.743	0.788	0.826	0.927	0.974	0.981	0.986	0.989
7	0.730	0.760	0.803	0.838	0.928	0.972	0.979	0.985	0.988
8	0.749	0.778	0.818	0.851	0.932	0.972	0.978	0.984	0.987
9	0.764	0.791	0.829	0.859	0.935	0.972	0.978	0.984	0.986
10	0.781	0.806	0.842	0.869	0.938	0.972	0.978	0.983	0.986
11	0.792	0.817	0.850	0.876	0.940	0.973	0.979	0.984	0.986
12	0.805	0.828	0.859	0.883	0.943	0.973	0.979	0.984	0.986
13	0.814	0.837	0.866	0.889	0.945	0.974	0.979	0.984	0.986
14	0.825	0.846	0.874	0.895	0.947	0.975	0.980	0.984	0.986
15	0.835	0.855	0.881	0.901	0.950	0.975	0.980	0.984	0.987
16	0.844	0.863	0.887	0.906	0.952	0.976	0.981	0.985	0.987
17	0.851	0.869	0.892	0.910	0.954	0.977	0.981	0.985	0.987
18	0.858	0.874	0.897	0.914	0.956	0.978	0.982	0.986	0.988
19	0.863	0.879	0.901	0.917	0.957	0.978	0.982	0.986	0.988
20	0.868	0.884	0.905	0.920	0.959	0.979	0.983	0.986	0.988
21	0.873	0.888	0.908	0.923	0.960	0.980	0.983	0.987	0.989
22	0.878	0.892	0.911	0.926	0.961	0.980	0.984	0.987	0.989
23	0.881	0.895	0.914	0.928	0.962	0.981	0.984	0.987	0.989
24	0.884	0.898	0.916	0.930	0.963	0.981	0.984	0.987	0.989
25	0.888	0.901	0.918	0.931	0.964	0.981	0.985	0.988	0.989
26	0.891	0.904	0.920	0.933	0.965	0.982	0.985	0.988	0.989
27	0.894	0.906	0.923	0.935	0.965	0.982	0.985	0.988	0.990
28	0.896	0.908	0.924	0.936	0.966	0.982	0.985	0.988	0.990
29	0.898	0.910	0.926	0.937	0.966	0.982	0.985	0.988	0.990
30	0.900	0.912	0.927	0.939	0.967	0.983	0.985	0.988	0.990
31	0.902	0.914	0.929	0.940	0.967	0.983	0.986	0.988	0.990
32	0.904	0.915	0.930	0.941	0.968	0.983	0.986	0.988	0.990
33	0.906	0.917	0.931	0.942	0.968	0.983	0.986	0.989	0.990
34	0.908	0.919	0.933	0.943	0.969	0.983	0.986	0.989	0.990
35	0.910	0.920	0.934	0.944	0.969	0.984	0.986	0.989	0.990
36	0.912	0.922	0.935	0.945	0.970	0.984	0.986	0.989	0.990
37	0.914	0.924	0.936	0.946	0.970	0.984	0.987	0.989	0.990
38	0.916	0.925	0.938	0.947	0.971	0.984	0.987	0.989	0.990
39	0.917	0.927	0.939	0.948	0.971	0.984	0.987	0.989	0.991
40	0.919	0.928	0.940	0.949	0.972	0.985	0.987	0.989	0.991
41	0.920	0.929	0.941	0.950	0.972	0.985	0.987	0.989	0.991
42	0.922	0.930	0.942	0.951	0.972	0.985	0.987	0.989	0.991
43	0.923	0.932	0.943	0.951	0.973	0.985	0.987	0.990	0.991
44	0.924	0.933	0.944	0.952	0.973	0.985	0.987	0.990	0.991
45	0.926	0.934	0.945	0.953	0.973	0.985	0.988	0.990	0.991
46	0.927	0.935	0.945	0.953	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991
47	0.928	0.936	0.946	0.954	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991
48	0.929	0.937	0.947	0.954	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991
49	0.929	0.939	0.947	0.955	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991
50	0.930	0.938	0.947	0.955	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991

# ANNEXE IX

## Diagrammes Q-Q plot de distribution statistique



# ANNEXE IX



# ANNEXE 10

## Tableau récapitulatif des principaux résultats

Recherches	Résultats observés	Résultats issues de la Littérature
Corrélation entre la CRO et la VVSSI	Pas de corrélation statistiquement significative. $R_{\text{moyen}} = 0,23$ ( $p > 0,05$ )	Pas de résultats trouvés dans la littérature en ce qui concerne une corrélation directe
Corrélation entre la variabilité de la CRO et la variabilité de la VVSSI	Pas de corrélation entre la variabilité de la CRO et la variabilité de la VVSSI	Corrélation importante entre la variabilité de la CRO et la variabilité de la VVSSI après normalisation des valeurs ( $R = 0,80$ ; $N = 6$ ) ( <i>Tarnutzer, 2009</i> )
Différence statistiquement significative entre l'amplitude moyenne de l'effet Muller et l'amplitude moyenne de la CRO	Pas de différence significative constatée ( $p > 0,05$ )	Pas de résultats trouvés dans la littérature en ce qui concerne l'amplitude de la VVS
Existence d'une torsion résiduelle oculaire	Torsion résiduelle oculaire (toute inclinaison confondus) égale à $1,28^\circ \pm 0,11^\circ$ .	Torsion résiduelle oculaire égale à $1,65^\circ$ . ( <i>Palla, 2005</i> )
Evolution de la CRO avec l'âge	Pas de différence statistiquement significative entre la CRO des sujets jeunes (18-45 ans) et celle des sujets plus âgés (46-71 ans) ( $p > 0,05$ )	Résultats semblables à ceux trouvés dans la littérature ( <i>Serrador, 2009</i> )
Suppression de l'effet Muller, lorsque la position de départ du laser et de la tête sont inclinée parallèlement	Effet Muller supprimé. Déviation moyenne égale à $0,76^\circ$ (inclinaisons gauche et droite confondus)	Déviation moyenne égale à $0,6^\circ$ ( <i>Hoppenbrouwers, 2003</i> )
Evolution de la déviation de la verticale avec l'âge	Pas de différence statistiquement significative entre la VVSSI des sujets jeunes (18-45 ans) et celle des sujets plus âgés (46-71 ans) ( $p > 0,05$ ) Idem pour la VVS	Résultats semblables à ceux trouvés dans la littérature ( <i>Kobayashi, 2002</i> )

# ANNEXE 11

## Attestation de production d'autorisations écrites



Annexe IV : Attestation de production d'autorisations écrites  
Du patient et de son médecin en vue de la rédaction du travail écrit

Je soussigné : ...*Chausbatz*...*PETIT NICOLAS*.....représentant la direction  
pédagogique de l'Institut de Formation en Masso-kinésithérapie Université Claude Bernard  
Lyon1 – ISTR,

Atteste que

Madame, Mademoiselle, Monsieur .....*VINCENT*.....*JULIAN*.....  
Étudiant(e) en kinésithérapie de l'Institut de Formation en Masso-kinésithérapie Université  
Claude Bernard Lyon1 – ISTR a présenté les pièces justificatives montrant le suivi de la  
procédure de demande d'autorisations écrites visant au respect des règles déontologiques  
d'anonymat et garantie du secret professionnel, sous forme écrite et informatique.

Autorisation remise à l'intéressé(e) pour servir ce que valoir de droit.

Le *07/05/15*

Signature et tampon :



---

# GLOSSAIRE

-

# ABRÉVIATIONS

---

---

# GLOSSAIRE

---

Accéléromètre : Un accéléromètre est un capteur qui permet d'estimer et de calculer les mouvements d'accélération d'un objet sur lequel il est fixé.

Ampullifuge : Mouvement d'endolymphe allant de l'ampoule du canal semi-circulaire, vers le canal lui-même.

Ampullipète : Mouvement d'endolymphe allant du canal semi-circulaire vers l'ampoule de celui-ci.

Cru commun : Le cru commun correspond à l'abouchement commun des canaux semi-circulaires antérieur et postérieur au niveau de l'utricule.

Cyclotorsion : La cyclotorsion est un mouvement de rotation oculaire selon un axe antéro-postérieur faisant suite à une inclinaison de la tête. La cyclotorsion ou encore appelée contre rotation oculaire (counter-rolling en anglais) est caractérisée par une phase dynamique suivi d'une phase statique si l'on maintient la position d'inclinaison.

Endolymphe : Liquide présent à l'intérieur du labyrinthe membraneux de l'oreille interne. On la retrouve à l'intérieur des canaux semi-circulaires, de l'utricule, du saccule et de la cochlée.

Endoste : L'endoste est une membrane qui recouvre la surface interne de l'os.

Excycloduction : Mouvement de rotation oculaire selon un axe antéro-postérieur en direction de la tempe.

---

# GLOSSAIRE

---

Gain : Le gain se caractérise comme étant un ratio entre deux variables. Le gain de la contre rotation oculaire se définit comme étant le rapport entre l'amplitude de la contre rotation oculaire et l'angle d'inclinaison de la tête.

Incycloduction : Mouvement de rotation oculaire selon un axe antéro-postérieur en direction du nez.

Kinocil: Cil le plus grand se trouvant à l'extrémité d'une touffe de cils situées au pôle apical d'une cellule sensorielle vestibulaire.

Lacet : Le lacet correspond à un mouvement de rotation autour d'un axe verticale passant par le centre de la tête.

Maladie de Menière : La maladie de Menière est une pathologie chronique de l'oreille interne provoquant des vertiges, des acouphènes ainsi qu'une baisse de l'audition lors de période de crise.

Nystagmus: Le nystagmus peut se définir comme étant un mouvement oculaire involontaire et se caractérise par l'alternance et la succession d'une phase lente et d'une saccade de recentrement. On caractérise le sens du nystagmus par le sens de sa phase rapide, dite saccade de recentrement. On retrouvera différents types de nystagmus, comme les nystagmus latéraux, verticaux ou torsionnel

Nystagmus torsionnel: Un nystagmus torsionnel est un nystagmus rotatoire selon un axe antéro-postérieur.

---

# GLOSSAIRE

---

Réflexe cervico-colique : Le réflexe cervico-colique est un réflexe permettant d'orienter le tronc sous la tête.

Réflexe optocinétique : Le réflexe optocinétique est un réflexe dont le but est de stabiliser l'image sur la rétine, lorsque l'environnement est en mouvement et que celui-ci glisse sur la rétine.

Réflexe vestibulo-oculaire : Le réflexe vestibulo-oculaire est un réflexe permettant de stabiliser le regard et donc de stabiliser l'image sur la rétine lors des mouvements de la tête dans les trois plans de l'espace (roulis, tangage et lacet).

Roulis : Le roulis correspond à un mouvement de rotation de la tête autour de son axe naso-occipital.

Saccade de recentrement : Une saccade de recentrement est un réflexe permettant à l'œil via un mouvement rapide, de revenir en position initiale après en avoir été déviée.

Sclérotique : La sclère est une membrane blanche fibreuse, qui constitue le blanc de l'œil.

Spirale de Tillaux : Ligne circulaire imaginaire présente au niveau du blanc de l'œil et délimitant une ligne d'insertion pour les muscles oculomoteur.

Stéréocils : Les stéréocils sont de longues expansions cytoplasmiques retrouvées au niveau du pôle apical des cellules ciliées. Au niveau de l'oreille interne, leur rôle est de transmettre les vibrations sonores et les mouvements de l'endolymphe à la cellule.

---

# GLOSSAIRE

---

Striola : C'est une ligne séparant les macules en deux zones de dimension égale. Selon qu'il s'agit de la macula utriculaire ou sacculaire, cette ligne détermine le sens de la polarité des cellules ciliées.

Tangage : Le tangage correspond à un mouvement de rotation autour d'un axe passant par les deux oreilles.

Torsion oculaire résiduelle : La torsion oculaire résiduelle est un phénomène se produisant après que la tête ait été inclinée. Suite à l'inclinaison, l'œil peut rester partiellement contre roté dans le sens opposé à l'inclinaison et ne pas retrouver immédiatement sa position initiale.

---

# ABRÉVIATIONS

---

AVC : Accident Vasculaire Cérébral

CRO : Contre Rotation Oculaire.

CROD : Contre Rotation Oculaire tête inclinée à Droite.

CROG : Contre Rotation Oculaire tête inclinée à Gauche.

CROM : Cervical Range Of Motion

DUC : Dynamic Unilateral Centrifugation

HST : Head Shaking Test

OVAR : Off Vertical Axis Rotation

VHIT : Video Head Impulse Test

VNG : VidéoNystagmoGraphie

VNS : VidéoNystagmoScopie

VVS : Verticale Visuelle Subjective.

VVSD : Verticale Visuelle Subjective laser départ à Droite.

VVSG : Verticale Visuelle Subjective laser départ à Gauche.

VVSSI : Verticale Visuelle Subjective en Situation d'Inclinaison.

---

# ABRÉVIATIONS

---

VVSSIDD : Verticale Visuelle Subjective en Situation d'Inclinaison, tête inclinée à Droite, laser départ à Droite.

VVSSIDG : Verticale Visuelle Subjective en Situation d'Inclinaison, tête inclinée à Droite, laser départ à Gauche.

VVSSIGD : Verticale Visuelle Subjective en Situation d'Inclinaison, tête inclinée à Gauche, laser départ à Droite.

VVSSIGG : Verticale Visuelle Subjective en Situation d'Inclinaison, tête inclinée à Gauche, laser départ à Gauche.

---

# FICHES DE LECTURE

---

# SOMMAIRE DES FICHES DE LECTURE

---

Fiche de lecture I : *Suppression de l'effet Muller (E-effect) lors du test de la verticale visuel subjective.*

Fiche de lecture II : *Persistance d'une torsion oculaire résiduelle, suite à la contre rotation oculaire.*

Fiche de lecture III : *Evaluation de la contre rotation oculaire, lors de l'inclinaison de la tête.*

Fiche de lecture IV : *La diminution des fonctions otolithiques avec l'âge, est associée à une augmentation du balancement postural.*

Fiche de lecture V : *Les effets de l'âge, de la distance ainsi que de la complexité d'un stimulus sur la contre rotation oculaire.*

Fiche de lecture VI : *La convergence responsable, d'une diminution de la contre rotation oculaire.*

Fiche de lecture VII : *Contre rotation oculaire, et perception de l'inclinaison, durant une rotation en dehors de l'axe vertical tête inclinée, après un vol spatial.*

Fiche de lecture VIII : *Test clinique de la fonction otolithique : La contre rotation oculaire statique suite à l'inclinaison passive de la tête.*

Fiche de lecture IX : *Test évaluant la fonction vestibulaire.*

---

# SOMMAIRE DES FICHES DE LECTURE

---

Fiche de lecture X : *Reproductibilité et fiabilité du dispositif CROM.*

Fiche de lecture XI : *Torsion oculaire humaine lors d'un vol parabolique : analyse avec des lentilles magnétiques.*

Fiche de lecture XII : *Dépendance entre la variabilité de la verticale visuelle subjective et la variabilité de la contre rotation oculaire lors de l'inclinaison de la tête.*

Fiche de lecture XIII : *L'Homme utilise un modèle interne pour construire et actualisé le sens de verticalité.*

Fiche de lecture XIV : *Le sens de verticalité est-il vestibulaire ?*

---

# FICHE DE LECTURE

---

## FICHE DE LECTURE I

—

### Suppression de l'effet Muller (E-effect) lors du test de la verticale visuel subjective.

---

AUTEUR : HOPPENBROUWERS Mieke, WUYTS Floris L. et VAN DE HEYNING Paul H.

TYPE DE DOCUMENT : Article scientifique (Etude clinique prospective)

SOURCE : NeuroReport Volume 15, No 2, février 2004

DATE DE PARUTION : Février 2004

NOMBRE DE PAGES : 3 pages (pages 325 – 327)

RESUME (THESE SOUTENUE) :

L'article présenté est une étude clinique prospective. Dans cette étude, les auteurs ont mesuré la verticale visuelle subjective de 38 sujets sains, tête inclinée. Différentes mesures ont été prises en fonction de l'inclinaison de la tête. La tête a été inclinée alternativement de  $-20^{\circ}$  à gauche, de  $-50^{\circ}$  à gauche, de  $+20^{\circ}$  à droite et de  $+50^{\circ}$  à droite. La barre lumineuse représentant la verticale, tournait alternativement dans le sens horaire et antihoraire avec une position de départ aléatoire de  $-5^{\circ}$ ,  $-20^{\circ}$ ,  $+5^{\circ}$ ,  $+20^{\circ}$ .

Comme montré dans d'autres études, lorsque la tête a une inclinaison inférieure à  $60-70^{\circ}$ , on note une déviation de la verticale visuelle subjective dans le sens opposé à l'inclinaison

---

# FICHE DE LECTURE

---

de la tête. Cependant dans cette étude, les auteurs ont mis en évidence que l'effet Muller pouvait être supprimé, si la position de départ de la barre lumineuse et de la tête sont relativement parallèles.

## PLAN DE L'ARTICLE :

- Introduction
  
- Matériels et méthodes
  - Population de l'étude
  - Paramètre de l'expérimentation
  - Procédure de l'expérimentation
  - Analyse statistique
  
- Résultats
  
- Discussion
  
- Conclusion
  
- Références

MOTS CLES : E-effect ; Suppression effet Muller ; VVS ; Verticale visuelle subjective ; Utricule ; Tête inclinée

## ANALYSE GENERALE – PRINCIPALES ETAPES DU RAISONNEMENT :

Dans cet article les auteurs ont cherché à montrer qu'il était possible de supprimer l'effet Muller lors de l'estimation de la verticale subjective statique (VSS) tête inclinée. En effet, lors de l'estimation de la VSS, si la tête du sujet a une inclinaison inférieure à 60-70°

# FICHE DE LECTURE

alors on constate une déviation de l'estimation de la verticale du côté opposé à l'inclinaison, c'est L'E-effect (effet Muller).

Pour cette étude, les auteurs ont recruté 38 sujets (19 femmes, 19 hommes) sains âgés de 16 à 54 ans.

Les différents sujets ont été placés dans une pièce obscure, à 1,3 mètre de l'écran sur lequel était projetée la ligne laser servant à estimer la verticale. Assis sur un siège sans appui dos (pour limiter l'apport d'information sensoriel, et donc un biais dans l'estimation de la verticale), les sujets avaient la possibilité de contrôler le laser via une télécommande, avec une précision de  $0.1^\circ$ . La position de départ du laser était déterminée aléatoirement par l'expérimentateur à savoir  $5^\circ$  ou  $20^\circ$  vers la gauche ou vers la droite.

Chaque sujet a estimé la VSS tête inclinée à gauche (tête inclinée entre  $-50^\circ$  et  $-20^\circ$ ) et tête inclinée à droite (tête inclinée entre  $+20^\circ$  et  $+50^\circ$ ). Pour chacune de ces deux positions de tête, la ligne laser projetée démarrait, soit vers la gauche (entre  $-50^\circ$  et  $-20^\circ$  d'inclinaison) et tournait dans le sens horaire, soit vers la droite (entre  $20^\circ$  et  $50^\circ$ ) et tournait dans le sens antihoraire. En définitive, chaque sujet a estimé quatre VSS, dont deux mesures où la position de départ du laser était parallèle à la position d'inclinaison de la tête.

Dans les conditions où le laser et la tête sont parallèles, l'estimation de la VSS n'était pas significativement différente de zéro (déviations de  $0,6^\circ \pm 0,6$ ). Cela signifie que dans ces conditions, l'estimation de la verticale visuelle subjective coïncide étroitement avec la verticale physique dite gravitaire.

Dans les conditions dites non parallèle, où la position de départ du laser et l'inclinaison de la tête ne sont pas parallèles, on trouve une différence significative de  $-3,5 \pm 0,7$  tête inclinée à droite et de  $5,9 \pm 0,6$  tête inclinée à gauche entre l'estimation de la VSS et la verticale vraie. De plus dans ces conditions, on retrouve l'effet Muller démontré dans d'autres études.

La conclusion des auteurs est que l'estimation de VSS dépend des conditions expérimentales à savoir si la position de départ du laser et la position d'inclinaison de la tête sont parallèles ou non. Si parallélisme il y a, alors on assiste à une suppression de l'effet Muller et on constate que la VSS n'est pas significativement différente de zéro et donc pas significativement différente de la verticale vraie. Cependant si les conditions de parallélisme ne sont pas respectées, l'effet Muller est bien présent.

---

# FICHE DE LECTURE

---

## INTERET DE L'ARTICLE, COMMENTAIRE CRITIQUE ET QUESTIONNEMENT :

On sait maintenant que l'estimation de la verticale subjective ne dépend pas exclusivement de l'angle d'inclinaison de la tête, mais qu'elle dépend aussi des conditions du test. On peut donc supposer que s'il existe une corrélation entre la verticale subjective et la contre rotation oculaire, alors cette corrélation ne pourra se retrouver que dans certaines conditions d'examen.

Les auteurs ont réalisé leur étude sur 38 sujets sains, cependant mis à part le fait que les sujets soient sans antécédents de pathologie vestibulaire, il semblerait qu'aucun examen d'inclusion ou d'exclusion dans l'étude n'ait été effectué.

De ce fait, il est impossible de déterminer avec certitude que les sujets inclus dans cette étude soient réellement sains en termes de pathologie vestibulaire.

Il est précisé que l'inclinaison de la tête ait été calculée avec un inclinomètre, mais il est précisé nulle part comment la tête du sujet est maintenue en inclinaison. Est-ce un maintien actif du sujet ? Un maintien passif ?

---

# FICHE DE LECTURE

---

## FICHE DE LECTURE II

—

### Persistance d'une torsion oculaire résiduelle, suite à la contre rotation oculaire.

---

AUTEUR : PALLA A, BOCKISCH C.J, BERGAMIN O, et STRAUMANN D

TYPE DE DOCUMENT : Article scientifique (étude clinique prospective)

SOURCE: Annals of the New York Academy of Sciences, Volume 1039 « Clinical and Basic Oculomotor Research »

DATE DE PARUTION : 2005

NOMBRE DE PAGES : 7 pages (pages 81-87)

RESUME (THESE SOUTENUE) :

Cette étude a pour objectif de mettre en évidence l'existence d'une torsion oculaire résiduelle, après un épisode de contre rotation oculaire. Des études récentes ont mis en évidence l'existence d'une torsion oculaire après inclinaison de la tête ou du corps. Les auteurs ont donc voulu approfondir les recherches sur ce phénomène, en faisant tourner/incliner dans le plan frontal 8 sujets sains. Pendant toute la rotation, les expérimentateurs ont enregistré les mouvements oculaires afin de mettre en évidence ce phénomène de torsion oculaire. Ils ont fini par mettre en évidence, une torsion résiduelle moyenne de  $1,3^\circ$  lorsque la chaise tourne dans le sens horaire, et une torsion résiduelle

---

# FICHE DE LECTURE

---

moyenne de  $2^\circ$  lorsque la chaise tourne dans le sens anti-horaire. Les résultats montrent aussi que cette torsion résiduelle est présente dès le premier tour à  $360^\circ$  et qu'elle n'augmente pas avec les tours à  $360^\circ$  suivants.

## PLAN DE L'ARTICLE :

- Introduction
- Matériels et méthodes
  - Population de l'étude
  - Paramètre de l'expérimentation
  - Enregistrement des mouvements oculaire et de la tête
  - Procédure expérimentale
  - Analyse des données
- Résultats
- Discussion
- Remerciements
- Références

MOTS CLES : Contre rotation ; Inclinaison ; Torsion résiduelle ; Otolithe ; Réflexe vestibulo-oculaire

## ANALYSE GENERALE – PRINCIPALES ETAPES DU RAISONNEMENT :

Pour cette étude les auteurs, ont sélectionnés huit sujets sains (4 hommes et 4 femmes) âgés de 30 à 42 ans.

Les sujets était assis dans un fauteuil motorisé permettant de tourner à  $360^\circ$  dans le plan frontal à une vitesse de constante de  $2^\circ/S$  avec une accélération de  $0,05^\circ/S^2$ . Chaque sujet

---

# FICHE DE LECTURE

---

a effectué 3 tours à la suite avant d'être arrêté en position de départ. Devant eux se situait un point laser projeté à 1,4 mètre devant leurs yeux. Ce point laser était allumé pendant 20 millisecondes et toutes les 2 secondes. Ce point permettait au sujet de fixer leur regard et donc d'éviter un phénomène de poursuite oculaire.

La contre rotation oculaire a été enregistrée via un système de lentilles magnétiques. Les auteurs ont demandé au sujet de porter des lentilles permettant via un système électromagnétique de calculer la contre rotation oculaire. Seul l'œil droit a été enregistré. Les résultats de l'étude ont montrés qu'après un tour complet d'inclinaison, l'œil droit n'a pas retrouvé sa position de départ mais est resté contre roté dans le sens opposé à l'inclinaison. Pour une inclinaison à  $360^\circ$  dans le sens horaire, l'œil avait une torsion résiduelle d'environ  $1,7^\circ$  et pour une inclinaison à  $360^\circ$  dans le sens anti-horaire l'œil avait une torsion résiduelle d'environ  $1,5^\circ$ . Cela signifie qu'après le premier tour, on a une augmentation relative de la contre rotation oculaire. Les auteurs ont aussi mis en évidence qu'après le premier tour le phénomène de torsion résiduelle ne s'accroissait pas, et restait stable lors des deux tours suivants. Étant donné la faible vitesse de rotation et la faible accélération du fauteuil, les auteurs ont considéré que la torsion résiduelle n'était pas due à un déplacement dynamique mais à un décalage de l'œil selon un axe antéropostérieur. Ils n'ont pas pu déterminer l'origine de ce phénomène mais selon eux, cela pourrait venir du système otolithique, du tronc cérébral ou encore des centres d'intégrations vestibulo-oculaires.

## COMMENTAIRE CRITIQUE, INTERET DE L'ARTICLE, ET QUESTIONNEMENT :

Les auteurs n'ont recruté que 8 sujets sains. Je pense qu'ils auraient pu en recruter davantage de manière à augmenter la puissance de leur étude. De plus il est précisé dans l'article que les sujets sont sains, seulement il n'est nul part précisé, les critères d'inclusion et d'exclusion ainsi que les critères et les examens permettant de définir un sujet comme « sain ».

Contrairement à notre étude, les auteurs ont fait tourner le corps des sujets mais la tête elle est restée fixe. De ce fait, mesuré dans des conditions différentes, la contre rotation oculaire ne présentera peut être pas le même phénomène de torsion résiduelle.

---

# FICHE DE LECTURE

---

Pendant les mesures, afin d'éviter un phénomène de poursuite, les sujets fixaient un point lumineux toute les 2 secondes pendant 20 millisecondes. La littérature a montré que la fixation d'un point fixe permettait d'inhiber un nystagmus ou une poursuite, par conséquent le fait de fixer un point durant l'enregistrement a peut-être biaisé les mesures. La question c'est de savoir si un stimulus visuel aussi bref, peut avoir un impact sur le réflexe otolithique.

Malgré cela l'article présente selon moi deux intérêts :

- Le premier c'est le fait de savoir qu'il existe bel et bien un phénomène de torsion résiduelle à prendre en compte lors de l'enregistrement de la contre rotation oculaire.
- Le deuxième intérêt, c'est le fait que cet article nous amène à nous demander, si pour mesurer la contre rotation oculaire, il faut considérer un 0 absolu (à savoir une position 0 déterminée au début de l'expérimentation au repos) ou s'il faut considérer un 0 relatif, c'est-à-dire une position 0 déterminée à chaque fois que la tête retourne à un inclinaison 0.

---

# FICHE DE LECTURE

---

## FICHE DE LECTURE III

—

### Evaluation de la contre rotation oculaire, lors de l'inclinaison de la tête

---

AUTEUR: SCHWORM H.D, YGGE J, PANSELL T, et LENNERSTRANDG.

TYPE DE DOCUMENT : Article scientifique (étude prospective)

SOURCE: Investigative Ophthalmology & Visual Science, Volume 43, n°3

DATE DE PARUTION : 2002

NOMBRE DE PAGES : 6 pages (pages 662-667)

RESUME (THESE SOUTENUE) :

Les auteurs de cette étude ont évalué la contre rotation oculaire lors de l'inclinaison de la tête dans différentes conditions. Pour cela, les auteurs ont recruté 5 sujets sains, et ont filmé la contre rotation oculaire de chaque sujet lors d'une inclinaison à 15°, 30° et 45°. Ces mesures ont été effectuées dans différentes conditions, à savoir soit les yeux totalement dans l'obscurité, soit un œil dans l'obscurité et un œil avec repère visuelle soit les yeux fixant un repère visuel. Les résultats montrent qu'avec un repère visuel au niveau des deux yeux, le gain de la contre rotation oculaire est plus élevé que celui pour lequel les yeux sont totalement dans l'obscurité.

---

# FICHE DE LECTURE

---

## PLAN DE L'ARTICLE :

- Introduction
  
- Méthodes
  - Population de l'étude
  - Vidéonystagmographie infra-rouge
  - Déroulement de l'expérimentation
  - Définition
  - Analyse des données
  
- Résultats
  
- Discussion

MOTS CLES : Contre rotation ; Vidéonystagmographie ; Tête incliné ; Cycloversion ; Gain

## ANALYSE GENERALE – PRINCIPALES ETAPES DU RAISONNEMENT :

Pour cette étude, les auteurs ont recruté cinq sujets sains âgés de 35 à 60 ans (3 hommes et 2 femmes). Les antécédents de chaque sujet ont été vérifiés, de manière à ce que les sujets sélectionnés ne présentent pas de troubles neurologiques ou de troubles oculomoteurs. Chaque sujet a subi un examen ophtalmique et orthoptique complet ; de plus pour chaque sujet l'angle de strabisme a été calculé de manière à exclure les patients ayant un strabisme. Pour chaque sujet, les expérimentateurs ont déterminé l'œil dominant via une « méthode de confrontation objective ».

Pour enregistrer la contre rotation oculaire, les auteurs ont utilisé un masque composé de deux caméras infra-rouge ; l'avant du masque étant fermé par une vitre en verre. Les sujets portent un système de fixation permettant d'emmener la tête en inclinaison à 15°, 30° et 45° dans le plan frontal (le système bloque tout autre mouvement en dehors du plan frontal).

# FICHE DE LECTURE

Les auteurs ont fait subir 3 tests à chaque sujet. Le test 1, consiste à enregistrer la contre rotation oculaire lors d'inclinaison gauche et droite de la tête à 15°, 30° et 45°, avec les yeux dans l'obscurité totale. Le test 2, consiste à effectuer les mêmes enregistrements mais avec fixation binoculaire (les 2 yeux fixent un repère à 1,5 mètre de distance). Le test 3, consiste à effectuer un enregistrement similaire mais avec une fixation monoculaire via l'œil dominant.

Pour les tests 2 et 3, le repère visuel était une photographie d'un bâtiment type « building suédois » avec au centre un point rouge, servant de repère de fixation. Pour le test 1 une feuille de papier était placée sur la vitre du masque de manière à masquer les repères visuels.

Au début du protocole, la tête du patient est droite dans l'axe du tronc (0° d'inclinaison) puis est amené en inclinaison à 15° pendant 10 secondes, à 30° pendant 10 secondes puis à 45° pendant 10 secondes, pour revenir en position de départ. Ceci est effectué pour les inclinaisons gauche et droite.

Les résultats montrent que la cycloversion (la cycloversion étant la moyenne de la cycloposition de l'œil gauche et de l'œil droit) la plus importante est retrouvée lors de l'inclinaison à 45°. Cependant le gain (le ratio entre la valeur angulaire de la contre rotation et l'angle d'inclinaison de la tête) diminue avec l'augmentation de l'inclinaison de la tête. On peut noter aussi, que le gain est en moyenne plus élevé lors de l'inclinaison droite que lors de l'inclinaison gauche. On voit aussi que lorsque la tête passe de 45° d'inclinaison à 0° d'inclinaison, l'œil ne reprend pas sa position initiale.

De plus les résultats ne montrent pas de différence significative entre les trois tests, ce qui pourrait signifier que la contre rotation oculaire dépend essentiellement des fonctions otolithiques et très peu des stimulus visuels.

## COMMENTAIRE CRITIQUE, INTERET DE L'ARTICLE, ET QUESTIONNEMENT :

L'étude présentée, comporte une population plutôt faible, de ce fait il est clair que cette étude manque de puissance. Autant les résultats vis-à-vis de la différence de gain entre les différentes inclinaisons sont très significatifs, autant ils ne le sont pas vis-à-vis de la différence de gain entre les 3 conditions de test. La question c'est est-ce que cette

---

# FICHE DE LECTURE

---

différence non significative est due à la faible puissance de l'étude, ou est-ce que c'est parce que les stimuli visuels n'interagissent pas avec la contre rotation oculaire.

Même si les auteurs ne le mentionnent pas réellement, les résultats rapportent qu'après une inclinaison à  $45^\circ$  l'œil ne reprend pas sa position initiale lorsque la tête revient en rectitude. D'autres études, ont aussi constatés le fait qu'il existe une torsion résiduelle.

---

# FICHE DE LECTURE

---

## FICHE DE LECTURE IV

—

### La diminution des fonctions otolithiques avec l'âge, est associée à une augmentation du balancement postural

---

AUTEUR: SERRADOR J.M, LIPSITZ L.A, GOPALAKRISHNAN G.S, BLACK F.O, WOOD S.J.

TYPE DE DOCUMENT : Article scientifique (étude prospective)

SOURCE: Neuroscience Letters, volume 465

DATE DE PARUTION : 2009

NOMBRE DE PAGES : 6 pages (pages 10 à 15)

RESUME (THESE SOUTENUE) :

On sait qu'avec l'âge, les risques de chute ainsi que les pertes d'équilibre s'accroissent. Avec l'âge on observe un vieillissement et une diminution des fonctions vestibulaires, cependant aucune étude n'a corrélé le vieillissement vestibulaire au risque de chute. Dans cette étude il est question de comparer le balancement postural ainsi que les mesures de la contre rotation oculaire avec l'âge. Pour cette étude les auteurs ont recruté 151 sujets sains âgés de 21 à 93 ans, et ont mesuré leur balancement postural ainsi que leur contre rotation oculaire.

---

# FICHE DE LECTURE

---

Les résultats ont montré un balancement plus important avec l'âge ainsi qu'une diminution de la contre rotation oculaire avec l'âge.

## PLAN DE L'ARTICLE :

- Introduction
  
- Matériels et méthodes
  - Population de l'étude
  - Contre rotation oculaire
  - Contrôle du balancement
  - Analyse des données
  
- Résultats
  - Contre rotation oculaire
  - Mesures du contrôle postural
  - Corrélation entre le balancement postural, la contre rotation oculaire et le risque de chute
  
- Discussion
  
- Remerciements

MOTS CLES : Fonction otolithique ; Balancement postural ; Contre rotation ; Age

## ANALYSE GENERALE – PRINCIPALES ETAPES DU RAISONNEMENT :

Pour cette étude les auteurs ont recruté 151 sujets sains (97 femmes et 54 hommes) âgé de 21 à 93 ans. Les antécédents de chaque sujet ont été vérifiés de manière à ne garder que les sujets ne présentant pas de pathologie cardiaque, ophtalmique, neurologique ou vestibulaire.

---

# FICHE DE LECTURE

---

Pour mesurer la contre rotation oculaire, les sujets étaient placés dans une pièce obscure. Les sujets devaient fixer un point lumineux situé à 1,37 mètre devant eux, afin de maintenir le regard. La contre rotation oculaire, de chaque sujet a été enregistré via un masque de videonystagmoscopie infra-rouge.

Pour évaluer le balancement postural, les auteurs ont utilisé une plateforme posturale qui mesure les différents centres de pression, puis ils ont calculé les angles de balancement médio-latéral (ML) et les angles de balancement antéro-postérieur (AP).

Pour chaque sujet le balancement a été calculé sur 3 essais de 30 secondes, dans 4 conditions différentes :

- Les yeux ouverts sur surface stable.
- Les yeux fermés sur surface stable
- Les yeux ouverts sur surface instable, du type tapis de mousse
- Les yeux fermés sur surface instable, du type tapis de mousse

Après avoir calculer les surfaces de balancement médio-latérale et antéro-postérieur, les expérimentateurs ont utilisé une formule de régression linéaire afin de déterminer s'il existe une corrélation entre l'âge, les contre rotations oculaires, et le balancement postural.

Les résultats montrent qu'il n'existe pas de différences significatives de contre rotation oculaire entre les hommes et les femmes. Cependant, on n'observe que la contre rotation oculaire (CRO) à un déclin plus important chez la femme que chez l'homme lors du vieillissement. En effet chez les hommes, la pente relative au déclin de la CRO est de 0,01 tandis qu'elle est de 0,02 chez la femme.

Au niveau du balancement postural, on constate une augmentation du balancement sur surface stable lorsque l'on augmente la difficulté, à savoir lorsque le sujet ferme les yeux (donc sans fixation du regard). Dans ces conditions on ne constate aucune corrélation entre le balancement antéro-postérieur et la contre rotation oculaire, alors que sur surface instable, les yeux fermés on constate une certaine corrélation. Au niveau du balancement médio-latéral, la corrélation entre le balancement et la contre rotation oculaire est encore plus forte. Contrairement au gain de l'OCR, l'augmentation du balancement n'augmente pas de manière linéaire avec les décennies. Il n'y a aucune différence significative entre les hommes et les femmes, et il apparaît que le phénomène de balancement soit plus important dans le groupe formé par les personnes âgées (60 à 90 ans).

---

# FICHE DE LECTURE

---

## COMMENTAIRE CRITIQUE, INTERET DE L'ARTICLE, ET QUESTIONNEMENT :

Du fait du nombre important de sujets dans l'étude, on peut considérer que cette étude à une puissance suffisamment importante, pour que les résultats rapportés soient fiables. Les auteurs ont considéré les sujets comme sains à partir de leurs seuls antécédents, il aurait été préférable de leur faire subir certains examens vestibulaire (videonystagmoscopie, HIT par exemple) afin d'en être sûr.

Ce qui est intéressant dans cette étude, c'est le fait que les résultats montrent une forte corrélation entre le balancement postural médio-latéral et la contre rotation oculaire. En effet cela peut vouloir dire que lorsque le corps oscille sur sa position d'équilibre, les yeux via le système otolithique, tend à compenser ces oscillations par un phénomène de contre rotation oculaire. L'autre fait intéressant c'est la diminution de la CRO avec l'âge. La CRO étant représentative du fonctionnement otolithique, le fait qu'elle diminue avec l'âge (tout comme les fonctions otolithiques), tend à renforcer l'idée que la contre rotation oculaire dépend fortement du fonctionnement du système otolithique. L'étude nous apprend aussi que la contre rotation oculaire, diminue de manière plus importante chez la femme que chez l'homme.

Cette permet de renforcer notre idée, que la contre rotation oculaire dépend de l'âge du sujet et que par conséquent il serait préférable de former des groupes de sujets par tranche d'âge.

---

# FICHE DE LECTURE

---

## FICHE DE LECTURE V

—

### Les effets de l'âge, de la distance ainsi que de la complexité d'un stimulus sur la contre rotation oculaire

---

AUTEUR: GOLTZ H.C, MIRABELLA G, LEUNG JOANNE C.Y, BLAKEMAN Alan W, et al

TYPE DE DOCUMENT : Article scientifique (étude prospective)

SOURCE: Vision Research, Volume 49

DATE DE PARUTION : 2009

NOMBRE DE PAGES : 5 pages (pages 1848–1852)

RESUME (THESE SOUTENUE) :

Lorsque l'on incline la tête, les yeux tournent selon un axe naso-occipital dans le sens opposé à l'inclinaison de la tête. Le but de cette étude est de déterminer si des facteurs tels que la distance, l'âge ou la complexité d'un stimulus peuvent interagir et/ou modifier la contre rotation oculaire (CRO). Pour cela les auteurs ont recrutés 47 sujets sains, pour lesquels ils ont mesuré la contre rotation oculaire, lors d'inclinaison allant de 0° à 40° par pas de 5°. Les résultats ont montré que, les sujets âgés de plus de 31 ans avaient un gain de CRO inférieur à celui des sujets âgé de moins de 30 ans pour des stimuli à distance

---

# FICHE DE LECTURE

---

élevée. Il semblerait qu'un stimulus éloigné nécessiterait une contre rotation oculaire plus importante et que la complexité du stimulus n'aurait aucune influence sur celle-ci.

## PLAN DE L'ARTICLE :

- Introduction
  
- Matériels et méthodes
  - Population de l'étude
  - Stimuli visuel
  - Enregistrement oculaire
  - L'inclinaison de la tête
  - Analyse des données
  
- Résultats
  
- Discussion
  
- Remerciements

MOTS CLES : Contre rotation ; Stimuli ; Age ; Distance

## ANALYSE GENERALE – PRINCIPALES ETAPES DU RAISONNEMENT :

Pour cette étude les auteurs ont recrutés 47 sujets sains âgés de 13 à 63 ans (32 femmes et 15 hommes). Les sujets considérés comme sains, n'avaient aucune pathologie vestibulaire, neurologique, oculomotrice, et avait une vision normale.

Le but de cette étude est d'étudier la contre rotation oculaire dans différentes conditions. Le stimulus visuel, était soit un point rouge au sein d'une croix situé au sein d'un fond gris soit un stimulus plus complexe formé par un point avec une croix sur un fond avec des lignes horizontales et verticales. Chaque stimulus a été présenté au sujet à une distance de 0,33 mètre et à une distance de 1 mètre.

# FICHE DE LECTURE

La contre rotation oculaire a été enregistré via un masque de videonystagmoscopie, au niveau des deux yeux pour chaque sujet.

Les sujets sont assis dans un fauteuil, réglé en début d'expérimentation de manière à ce que la tête du sujet soit bien située devant la cible. Une fois installé les auteurs ont filmé l'œil du sujet la tête en rectitude puis à l'aide d'un « capteur sensoriel à inertie », l'expérimentateur emmène la tête à 5° d'inclinaison (l'expérimentateur prend la tête du sujet par une prise crâniale et maintient la tête du sujet dans la position désirée), et reste dans cette position pendant 15 secondes. Ensuite il emmène la tête à 10° d'inclinaison, puis 15° jusqu'à 40° et ramène la tête en rectitude. La direction du mouvement ainsi que le choix du stimulus et de la distance sont déterminés à chaque fois de manière aléatoire. Si pendant une série de mesure, le sujet bouge la tête de plus de 1° par rapport à la position guidée de l'expérimentateur, alors la série est annulée et refaite. En tout, 8 séries ont été pratiquées par sujet, soit 4 séries (dans différentes conditions) tête inclinée à gauche et 4 séries tête inclinée à droite.

Les différentes conditions étaient :

- Stimuli lointain (1 mètre de distance) simple
- Stimuli lointain complexe
- Stimuli proche (0,33 mètre) simple
- Stimuli proche complexe

Les résultats montrent que :

- ⇒ La contre rotation oculaire augmente de manière linéaire avec l'inclinaison de tête jusqu'à 15° ; passé 15° le gain de la CRO diminue.
- ⇒ La distance du stimulus, modifie la contre rotation oculaire et que pour un stimulus lointain la CRO est bien plus importante que pour un stimulus proche. La moyenne du gain pour le stimulus lointain était de  $-0.170 \pm 0.007$  contre  $-0.136 \pm 0.006$ . La valeur maximale de la CRO pour le stimulus lointain était d'environ  $\pm 6,5^\circ$  contre  $\pm 4,5^\circ$  pour le stimulus proche.
- ⇒ Il semblerait que pour un stimulus proche, l'âge n'ait pas un gros impact sur la CRO tandis qu'elle aurait un impact sur la CRO pour un stimulus à longue distance.

---

# FICHE DE LECTURE

---

⇒ Il n'y a aucune différence significative au niveau du gain de la contre rotation oculaire entre un stimulus simple et un stimulus complexe. Les résultats donnent un gain de  $-0,180 \pm 0,008$  pour un stimulus simple contre un gain de  $-0,193 \pm 0,007$ .

## CRITIQUE, INTERET DE L'ARTICLE, ET QUESTIONNEMENT :

Dans cet article les auteurs ont recruté un nombre suffisant de sujets, pour que cette étude présente des résultats acceptables.

Pour les mesures de la contre rotation oculaire, les expérimentateurs ont attendu un délai de 15 secondes après l'inclinaison, pour effectuer leurs mesures. Ce délai permet de ne prendre en compte que le système otolithique de l'oreille interne, et de mettre de côté le système canalaire.

Le grand intérêt de cet article c'est le fait d'apprendre que d'une part la distance à un impact sur la contre rotation oculaire, et que d'autre part le type de stimulus n'a aucun impact sur la CRO. La question c'est de savoir pourquoi la distance influe sur la CRO ; peut-être est-ce dû à un phénomène de convergence oculaire.

Cette étude permet aussi de confirmer certains résultats démontrés par d'autres études qui présentaient un échantillon de sujet faible ; comme par exemple le fait que le gain de la contre rotation oculaire diminue avec l'inclinaison de la tête ou encore le fait que la CRO diminue avec l'âge, notamment chez les personnes âgées (diminution statistiquement non significative).

---

# FICHE DE LECTURE

---

## FICHE DE LECTURE VI

—

### La convergence responsable, d'une diminution de la contre rotation oculaire

---

AUTEUR: OOI D, CORNELL E.D, CURTHOYS I.S, BURGESS A.M,  
MACDOUGALL H.G

TYPE DE DOCUMENT : Article scientifique (étude prospective)

SOURCE: Vision Research, Vol 44

DATE DE PARUTION : 2004

NOMBRE DE PAGES : 9 pages (pages 2825–2833)

RESUME (THESE SOUTENUE) :

Lorsque l'on incline la tête, les yeux tournent dans le sens inverse du mouvement de manière à compenser et à garder l'image sur la rétine. Cette étude menée par *OOI D et al*, a pour but d'évaluer la contre rotation oculaire (CRO) en fonction de la distance d'un stimulus et en fonction de sa position par rapport au regard, à savoir positionner de manière symétrique ou non vis-à-vis de l'axe de convergence oculaire. Pour cela, les auteurs ont recruté 6 sujets sains et ont mesuré leur CRO dans différentes conditions. Les résultats ont montré que la convergence oculaire, ainsi que la distance du stimulus avait un rôle et pouvait modifier l'angle de contre rotation de l'œil.

# FICHE DE LECTURE

## PLAN DE L'ARTICLE :

- Introduction
  
- Matériels et méthodes
  - Population de l'étude
  - Mesures vidéo
  - Fauteuil d'inclinaison
  - Procédure de l'expérimentation
  - Analyse des données
  
- Résultats
  
- Discussion

MOTS CLES : Contre rotation ; Convergence ; Vergence ; Tête incliné.

## ANALYSE GENERALE – PRINCIPALES ETAPES DU RAISONNEMENT :

Pour cette étude les auteurs ont recruté 6 sujets sains (3 hommes et 3 femmes) âgés de 30 à 34 ans, sans antécédents de pathologie vestibulaire. Sur les 6 sujets deux, étaient totalement sains d'un point de vu oculaire et 4 avaient une pathologie oculaire. On a donc :

- Deux sujets appelés pour l'étude « JK » et « SG » emmétrope, donc sans aucune pathologie ophtalmique (acuité de 20/20).
- Le « SH » qui n'avait pas de pathologie particulière mais une légère baisse de l'acuité corrigé par des lentilles.
- Le sujet « AB » avec une myopie astigmatique réfractive, et une acuité non corrigé de 20/20 par rapport à la distance des tests.
- Le sujet « DO » présentant une myopie.
- Le sujet « LM »

---

# FICHE DE LECTURE

---

La contre rotation oculaire a été mesuré via deux caméras fixées sur un masque thermoplastique adapté à chacun des sujets. Grâce à ce masque et à un système de miroir, les sujets pouvaient voir ce qu'il se passait devant eux.

Pour commencer les sujets étaient placés dans une pièce obscure. Devant eux se trouvait deux cibles, l'une à 30 centimètres et une autre située à 1,30 mètre, décalé verticalement de  $2^\circ$  et situé sur un axe passant par le centre de la distance interoculaire (entre les deux yeux). Les sujets avaient pour consigne de fixer, la cible lointaine pendant 30 secondes puis la cible proche pendant 30 secondes (les deux cibles lumineuse étaient en permanence allumées, et c'était au sujet de passer d'une cible à une autre). Assis dans un fauteuil tournant, les sujets ont été inclinés de  $20^\circ$ ,  $40^\circ$ , et  $60^\circ$  vers la droite et vers la gauche avec pour même consigne de fixer les deux cibles alternativement.

Ensuite les sujets sont revenus pour effectuer une deuxième session de mesures, pratiquement identique, mis à part que les cibles lumineuses étaient situées dans l'axe de l'œil dominant et non pas dans l'axe de symétrie de convergence oculaire.

Les résultats montrent que :

- ⇒ La contre rotation oculaire est plus importante lorsque le sujet fixe une cible lointaine.
- ⇒ Il n'y a pas de différence significative de la contre rotation oculaire entre les différents sujets.
- ⇒ Il n'y a pas de différences significatives entre la contre rotation de l'œil dominant et la contre rotation de l'œil non dominant. De plus le gain (entre les deux distances) est sensiblement identique entre l'œil dominant et le non dominant vis-à-vis de la distance des cibles ; pour l'œil dominant on a une augmentation du gain de 36,2% entre la « distance lointaine » et « la distance proche » contre 36,5 pour l'œil non dominant dans les conditions où la cible est située sur l'axe de convergence oculaire.
- ⇒ Le gain de la contre rotation oculaire (gain entre les deux distances) n'est pas significativement différent dans les conditions de vergence symétrique et de vergence asymétrique (on a un gain de 36.35% dans les conditions de vergence symétrique et un gain de 34.7% dans les conditions de vergences asymétrique).

---

# FICHE DE LECTURE

---

## CRITIQUE, INTERET DE L'ARTICLE, ET QUESTIONNEMENT :

L'étude présentée compte une population de sujet assez faible, il aurait été préférable que les auteurs recrutent plus de sujets afin de donner à cette étude une puissance plus importante. Selon moi il n'y avait pas d'intérêt à prendre des sujets avec des pathologies oculaires variées, au vu nombre de sujet, il aurait mieux value prendre des sujets dépourvus de pathologie oculaire. Je pense que le fait de laisser les deux cibles lumineuses allumées en même temps peut induire le sujet en erreur et donc induire des biais dans les mesures effectuées.

Cependant l'étude confirme des résultats apportés par d'autres études ultérieures comme le fait que la CRO est plus important lorsque la cible se situe à une distance lointaine.

Cette étude nous permet d'apprendre qu'il n'y a pas de différence significative entre la contre rotation oculaire de l'œil dominant et la contre rotation oculaire de l'œil non dominant, et que par conséquent il n'est pas nécessaire de déterminer l'œil dominant pour la prise de mesure. Il apparait que le gain calculé entre la CRO et l'inclinaison de la tête soit différent en fonction de la convergence. Dans les conditions symétriques, la CRO est diminué par rapport aux conditions asymétriques.

Tout cela signifie que pour des raisons de reproductibilités, il est impératif que lors de la prise de mesures, les sujets soient placés à la même distance du stimulus et à la même position afin d'éviter des biais liés à la convergence oculaire.

---

# FICHE DE LECTURE

---

## FICHE DE LECTURE VII

—

### Contre rotation oculaire, et perception de l'inclinaison, durant une rotation en dehors de l'axe vertical tête inclinée, après un vol spatial

---

AUTEUR: CLEMENT G, DENISE P, RESCHKE MILLARD F, et WOODS.J

TYPE DE DOCUMENT : Article scientifique (étude prospective)

SOURCE: Journal of Vestibular Research 17

DATE DE PARUTION : 2007

NOMBRE DE PAGES : 7 pages (pages 209 à 215)

RESUME (THESE SOUTENUE):

La contre rotation oculaire (CRO) induite par l'inclinaison de la tête ou du corps, a été évalué après un vol dans l'espace. Le but de cette étude est d'évaluer la contre rotation oculaire et la perception de l'inclinaison de chaque sujet avant et après un vol dans l'espace. Pour cela, les auteurs ont mesuré la CRO de 7 astronautes en les faisant tourner sur un fauteuil têtes inclinées (technique de rotation appelé « Off-Vertical Axis Rotation (OVAR) » de 10° et 20°.

Les résultats montrent qu'il n'y a pas de différence significative de CRO avant et immédiatement après le vol spatial pendant la rotation « OVAR ». Cependant, l'amplitude

---

# FICHE DE LECTURE

---

de perception de l'inclinaison de la tête était bien plus élevée après le vol spatial qu'avant. Cela suggère qu'après un vol de courte durée, le système périphérique otolithique retrouve un fonctionnement normal tandis que le système centrale lui ce soit adapté aux conditions de micro gravité.

## PLAN DE L'ARTICLE :

- Introduction
  
- Méthodes
  - Population de l'étude
  - Equipements et protocole
  - Analyse des données
  
- Résultats
  - Contre rotation oculaire
  - Perception de l'inclinaison
  
- Discussion
  
- Remerciements

MOTS CLES : Microgravité ; Contre rotation ; Off-vertical axis rotation ; Vol spatial ; Inclinaison

## ANALYSE GENERALE – PRINCIPALES ETAPES DU RAISONNEMENT :

Pour cette étude, les auteurs ont recruté 7 astronautes âgés de 38 à 50 ans avant et après 10 à 13 jours de vol spatial. Les sujets étaient tous considérés comme sains, et ne présentaient aucune pathologie neurologique (évaluation médicale pratiqué

# FICHE DE LECTURE

périodiquement par la Nasa). Les sujets ont participé à 6 sessions, 3 sessions avant le vol et 3 sessions après le vol spatial (entre 2 et 24 heures après le vol, R+0, R+2, R+4).

La contre rotation oculaire est enregistrée et calculée via un masque de videonystagmoscopie, et il est demandé au sujet de regarder au loin dans le vide pendant tout l'examen.

Le sujet est assis sur un fauteuil rotatif situé dans une pièce obscure. Les sujets assis dans ce fauteuil vont tourner à une vitesse constante de  $45^\circ/\text{S}$  (accélération  $25^\circ/\text{S}^2$ ), avec le corps en inclinaison de  $10^\circ$  puis de  $20^\circ$  par rapport à la verticale (le sujet est bloqué dans le siège, la tête droite et ne peut pas bouger ; seul le fauteuil s'incline). Durant l'enregistrement, les sujets sont invités à quantifier l'amplitude de leur inclinaison.

Les résultats montrent que :

- ⇒ Il n'y a pas de différence significative entre la CRO avant et après le vol dans l'espace. On constate une légère diminution de la contre rotation oculaire, mais qui n'est pas significative.
- ⇒ Avant le vol dans l'espace, les sujets avaient tendance à surestimer ou sous-estimer leurs inclinaisons de  $2,5^\circ$  et  $5^\circ$  pour des inclinaisons respectives de  $10^\circ$  et  $20^\circ$ . Le jour même de leur retour sur Terre, la marge d'erreur quant à leurs estimations de l'inclinaison était de  $7,8^\circ$  et  $8,4^\circ$  pour des inclinaisons respectives de  $10^\circ$  et  $20^\circ$ . Deux jours après le retour sur Terre, les résultats montrent que les marges d'erreurs de perception de l'inclinaison sont sensiblement les mêmes que celle avant le vol dans l'espace.

## COMMENTAIRE CRITIQUE, INTERET DE L'ARTICLE, ET QUESTIONNEMENT :

Cette étude nous apprend qu'un court séjour dans l'espace ne suffit pas à dérégler le système otolithique périphérique, mais nous apprend aussi que le système nerveux central s'est adapté à la condition de micro gravité. Le fait que l'on observe une adaptation d'origine centrale, nous amène à nous demander si le système nerveux central pourrait s'adapter à d'autres conditions comme par exemple, vis-à-vis des sujets qui ont une épaule plus basse que l'autre, ou un torticolis et donc modifier la perception de l'inclinaison.

---

# FICHE DE LECTURE

---

Le fait que la CRO ne soit pas significativement différente après un vol spatial, renforce l'idée que ce réflexe reflète le fonctionnement direct du système otolithique périphérique.

Cependant, l'étude ne comportant que 7 sujets, il faut rester prudent vis-à-vis des résultats obtenus, et selon moi il serait conseillé de comparer ces résultats à d'autres études réalisés dans des conditions similaires. En effet cela permettrait de confronter ces résultats à d'autres et de donner plus ou moins de crédibilité à ces observations.

---

# FICHE DE LECTURE

---

## FICHE DE LECTURE VIII

—

### Test clinique de la fonction otolithique : La contre rotation oculaire statique suite à l'inclinaison passive de la tête

---

AUTEUR : ZINGLER V.C, KRYVOSHEY D, SCHNEIDER E, GLASAUERS,  
BRANDT T et STRUPP M

TYPE DE DOCUMENT : Article scientifique (Etude clinique prospective)

SOURCE : NeuroReport Volume 17, No 6

DATE DE PARUTION : Avril 2006

NOMBRE DE PAGES : 5 pages (pages 611 – 615)

RESUME (THESE SOUTENUE) :

L'article présenté est une étude clinique prospective dont le but est de constater s'il existe une différence d'amplitude entre la contre rotation oculaire (CRO) tête inclinée (par rapport au corps) de manière passive, tête inclinée de manière active et corps inclinée dans sa globalité. Le deuxième objectif de cette étude est de présenter un test permettant l'évaluation de la fonction utriculaire via l'étude de la CRO. Après avoir étudié la CRO de 10 sujets âgés de 24 à 31 ans, les auteurs en ont conclu que l'amplitude de la CRO n'était pas significativement différente quel que soit les conditions expérimentales. En parallèle à

---

# FICHE DE LECTURE

---

cela, les auteurs ont aussi étudié la vélocité de la CRO et ont montré qu'elle était bien supérieure lorsque le sujet incline sa tête activement, et lorsque le sujet ramène sa tête en rectitude.

## PLAN DE L'ARTICLE :

- Introduction
  
- Méthodes
  - Les participants
  - Procédure
  - Videonystagmographie et mesure de l'inclinaison de la tête
  - Paramètre de l'expérimentation
  - Traitement des données et analyse statistique
  
- Résultats
  
- Discussion
  
- Conclusion
  
- Remerciements
  
- Références

MOTS CLES : roulis, tête inclinée, torsion oculaire, contre rotation oculaire statique

# FICHE DE LECTURE

## ANALYSE GENERALE – PRINCIPALES ETAPES DU RAISONNEMENT :

Le but de l'étude était d'évaluer si la CRO pouvait être influencé par la manière dont la tête était inclinée, et en fonction des résultats en déduire un test facilement reproductible au quotidien.

Les auteurs ont donc déterminé trois modalités d'examens qui sont :

- Inclinaison passive de la tête dans le plan frontal
- Inclinaison active de la tête dans le plan frontal
- Inclinaison du corps dans sa globalité dans le plan frontal

Pour évaluer l'impact de ces trois modalités sur la CRO, les auteurs ont recruté 10 sujets sains (âge moyen égale à  $27 \pm 2$  ans). Ils ont enregistré la CRO de chaque participant lors de 3 inclinaisons de la tête à gauche et à droite pour chacune des trois modalités et pour deux amplitudes d'inclinaison, à savoir  $12,5^\circ$  et  $25^\circ$ . En définitive ils ont effectué 12 mesures par sujet pour chacune des trois modalités.

La contre rotation oculaire a été enregistré via un masque de vidéonystagmoscopie et à l'aide de « marqueur » déposé sur la sclère de l'œil après anesthésie locale. Pour mesurer et permettre l'inclinaison de la tête les auteurs ont utilisé un système qui via une fixation frontal et un embout buccal, permet de mobiliser la tête selon un axe naso-occipital. Dans les conditions où l'inclinaison est passive, celle-ci se fait via le moteur du système tandis que pour l'inclinaison active c'est le sujet lui-même qui mobilise sa tête (sa tête est bloquée une fois la position désirée atteinte). L'inclinaison du corps dans sa globalité, se fait quant à elle via un fauteuil et est totalement passive de la part du sujet.

Les résultats ont montré que l'amplitude de la CRO ne variait pas de manière significative en fonction des trois modalités tandis que la vitesse de la CRO augmente de manière significative lors de l'inclinaison active de la tête. Pour finir, les résultats rapportent que le gain de la CRO diminue avec l'inclinaison tandis que le gain de la vitesse lui augmente avec l'inclinaison.

---

# FICHE DE LECTURE

---

## INTERET DE L'ARTICLE, COMMENTAIRE CRITIQUE ET QUESTIONNEMENT :

Pour nous l'intérêt majeur de cette étude c'est le fait que la CRO est été étudié dans différentes conditions. En effet, on sait à présent que la CRO issue de l'inclinaison de la tête par rapport au tronc n'est pas significativement différente de celle provoqué par l'inclinaison du corps dans sa globalité. Concrètement cela implique que la proprioception cervicale n'a pas d'influence significative sur l'amplitude de la CRO. Parallèlement à cela, cette étude nous permet aussi d'apprendre que le fait que l'inclinaison soit active ou passive n'a pas réellement d'influence sur l'amplitude de la CRO.

L'intérêt de ces différents constats c'est que maintenant on sait que la CRO peut être évaluée assez aisément sans trop se « soucier » des conditions d'évaluation et que par conséquent la CRO dépend véritablement d'une entité à part entière (le système otolithique en l'occurrence).

Par rapport à la vitesse de la CRO, il est difficile de dire si les conditions d'examen ont influencé ou non les résultats. En effet, le sujet mobilise activement sa tête et sans rétrocontrôle, par conséquent il est logique de penser que la vitesse de l'inclinaison ne soit pas constante et que donc les résultats aient pu être biaisés. A l'inverse le fait que la CRO statique ne soit pas différente entre une inclinaison active et une inclinaison passive laisse supposer la CRO ne varie en fonction de si oui ou non la vitesse est constante.

Pour finir le véritable bémol de cette étude est le fait que lors de l'inclinaison active il n'y ait pas eu de rétrocontrôle au niveau de la vitesse d'exécution du mouvement. En effet si tel avait été le cas, on aurait su si oui ou non la vitesse avait un impact sur la vitesse.

---

# FICHE DE LECTURE

---

## FICHE DE LECTURE IX

—

### Test évaluant la fonction vestibulaire

---

AUTEUR: WUYTS F.L, FURMAN J, VANSPAUWEN R, HEYNING P.V

TYPE DE DOCUMENT : Article scientifique – Mise au point (review)

SOURCE : Current Opinion in Neurology

DATE DE PARUTION : 2007

NOMBRE DE PAGES : 6 pages (pages 19 – 24)

RESUME (THESE SOUTENUE) :

L'article présenté est une mise au point et un état des lieux des différents examens réalisable pour évaluer le fonctionnement vestibulaire. L'objectif de cette publication est de lister et d'expliquer les tests et les examens qui peuvent être réalisé en fonction s'il on veut évaluer les mouvements oculaires, les canaux semi-circulaires, l'utricule ou encore le saccule. L'objectif final étant qu'après avoir rassemblé les connaissances d'une cinquantaine d'étude, on puisse constater ce qui est réalisable, et encore d'actualité.

---

# FICHE DE LECTURE

---

## PLAN DE L'ARTICLE :

- Introduction
  
- Méthodes permettant d'enregistrer les mouvements oculaires
  - Electro-nystagmographie/electro-oculographie
  - Vidéonystagmographie/Vidéo-oculographie
  - Lentille électromagnétique (Scléral search coil)
  
- Evaluation des canaux semi-circulaires horizontaux
  
- Evaluation des canaux semi-circulaires verticaux
  
- Evaluation de l'utricule
  
- Evaluation du saccule
  
- Test vestibulaire dont le but est incertain
  
- Conclusion
  
- Références et lectures recommandés

MOTS CLES : Verticale visuelle subjective, Utricule, Saccule, VEMP

## ANALYSE GENERALE – PRINCIPALES ETAPES DU RAISONNEMENT :

Dans cet article les auteurs ont répertorié l'ensemble des techniques permettant d'évaluer la fonction vestibulaire. Pour l'enregistrement des mouvements oculaires, ils

---

# FICHE DE LECTURE

---

décrivent trois techniques qui sont la vidéonystagmoscopie, l'oculographie et l'enregistrement des mouvements oculaires via l'utilisation de lentilles magnétiques. Parmi ces trois techniques, l'oculographie est actuellement peu utilisée car délicate à mettre en œuvre. Les lentilles magnétiques ont été beaucoup utilisées et considérées comme un « gold standard », mais sont de moins en moins utilisées du fait qu'elles soient invasives et que leur utilisation soit assez inconfortable pour le patient. À l'inverse, la vidéonystagmoscopie est de plus en plus utilisée et se substitue à l'utilisation de lentilles magnétiques. En effet, la qualité d'image s'améliorant au fil des années, ce système est actuellement le système le plus utilisé pour évaluer les mouvements oculaires.

Nous ne nous intéresserons que très peu à l'évaluation des canaux semi-circulaires, cependant ce que l'on peut dire c'est qu'actuellement pour évaluer les canaux horizontaux, le test de référence reste le test calorique, tandis que pour évaluer les autres canaux, le test de Halmagyi-Curthoys s'avère être un bon examen.

Pour évaluer la fonction utriculaire de manière spécifique, les auteurs décrivent deux techniques qui sont la centrifugation unilatérale et le test QVAR (Off-Vertical Axis Rotation). Ces deux tests permettent respectivement d'évaluer la fonction utriculaire soit unilatéralement soit bilatéralement via l'étude des nystagmus provoqués par la rotation du sujet autour d'un axe vertical. Malgré que ces deux tests aient l'avantage d'évaluer la fonction utriculaire de manière isolée, ils sont difficiles à mettre en œuvre du fait qu'ils nécessitent un gros investissement matériel.

Pour évaluer la fonction sacculaire, les auteurs n'évoquent qu'une seule technique qui n'est autre que l'évaluation des potentiels évoqués myogénique vestibulaire (VEMP). Cette technique, beaucoup utilisée permet d'évaluer le fonctionnement du saccule via l'étude des contractions du muscle sterno-cléido-mastoïdien après une forte stimulation sonore.

Pour finir les auteurs décrivent le test de la verticale visuelle subjective et le test de l'horizontale visuelle subjective comme étant peu représentatifs du fonctionnement otolithique. En effet d'après eux ce test reflète essentiellement la perception de la verticale associée aux compensations d'origine centrale.

---

# FICHE DE LECTURE

---

## INTERET DE L'ARTICLE, COMMENTAIRE CRITIQUE ET QUESTIONNEMENT :

Pour nous, l'intérêt de cet article était de connaître les différentes possibilités pour évaluer les mouvements oculaires et les différents tests permettant d'évaluer la fonction otolithique. Au final, il est clair que la meilleure solution pour enregistrer les mouvements oculaires reste la vidéonystagmoscopie car c'est une technique non invasive et facile à mettre en œuvre.

Pour l'évaluation du système otolithique et particulièrement l'utricule, il apparaît que l'OVAR et la centrifugation unilatérale sont deux tests difficilement réalisables. Par conséquent mise à part le test de la VVS considéré comme peu sensible et spécifique, peu d'alternative existe pour évaluer le système otolithique.

Il aurait été intéressant que les auteurs débattent et discutent plus longuement sur l'évaluation de la contre rotation oculaire. En effet, ils ne font que survoler l'idée que cette technique visant à évaluer le fonctionnement otolithique existe.

---

# FICHE DE LECTURE

---

## FICHE DE LECTURE X

—

### Reproductibilité et fiabilité du dispositif CROM

---

AUTEUR : AUDETTE I, DUMAS J-P, CÔTÉ J.N, DE SERRES S.J

TYPE DE DOCUMENT : Article scientifique (étude prospective)

SOURCE : Journal Of Orthopaedics & Sport Physical Therapy, Vol 40, n°5

DATE DE PARUTION : 2010

NOMBRE DE PAGES : 6 pages (pages 318 – 323)

RESUME (THESE SOUTENUE):

L'article présenté est une étude prospective dont l'objectif est de tester la fiabilité et la reproductibilité des mesures effectuées avec le CROM (Cervical Range Of Motion). Ce dispositif, est un système se présentant sous la forme d'un casque muni de trois inclinomètres permettant de mesurer l'ensemble des amplitudes cervicales dans les trois plans de l'espace (flexion, extension, rotation, inclinaison). Pour évaluer la qualité des mesures réalisées avec ce dispositif, les auteurs ont comparé les mesures effectuées avec ce système aux mesures effectuées avec un dispositif électronique sur échantillon de 20 sujets. Les résultats rapportent que le CROM est un dispositif fiable avec des mesures reproductibles quel que soit les mouvements cervicaux étudiés.

# FICHE DE LECTURE

---

## PLAN DE L'ARTICLE :

- Introduction
  
- Méthodes
  - Participant
  - Procédure
  - Acquisition des données
  - Analyses statistiques
  
- Résultats
  
- Discussion
  
- Conclusion
  
- Références

MOTS CLES : CROM, cervicale, inclinomètre, mesure clinique

## ANALYSE GENERALE – PRINCIPALES ETAPES DU RAISONNEMENT :

L'objectif de l'étude est de savoir si le CROM est un instrument fiable avec des mesures reproductibles. Pour cela les auteurs ont comparé les mesures effectuées avec le CROM à d'autres mesures effectuées avec un système électromagnétique (Fastrak) considéré comme étant particulièrement fiable.

Tout d'abord ils ont recruté 20 sujets sains dont 9 hommes et 11 femmes. Les auteurs ont ensuite mesuré les amplitudes cervicales de chacun des sujets dans les trois plans de l'espace à deux reprises. Une première série de mesures a été effectuée à J1 et une autre série de mesures a été réalisée 48 heures plus tard afin de s'assurer de la reproductibilité des mesures.

---

# FICHE DE LECTURE

---

Les résultats ont montré une forte corrélation entre les mesures réalisées avec le CROM et celle réalisées avec le Fastrak, puisque que l'on retrouve un coefficient de corrélation allant de 0,93 à 0,98 en fonction du mouvement étudié.

De plus la différence moyenne dans l'amplitude des mesures entre les deux dispositifs est d'environ 1,1°, soit une différence plus que minime. Au niveau de la reproductibilité des mesures, au vu du coefficient intra-classe allant de 0,89 à 0,98, on constate que les mesures sont véritablement reproductibles.

## INTERET DE L'ARTICLE, COMMENTAIRE CRITIQUE ET QUESTIONNEMENT :

L'intérêt de cet article, est de constater que le CROM permet de réaliser des mesures fiables et reproductibles. En effet cela signifie que l'inclinomètre sensible à la gravité est un dispositif qui permet de réaliser des mesures de qualités et que par conséquent il n'est pas nécessaire d'investir dans un système électronique sophistiqué pour obtenir de bonne mesures.

Il aurait été préférable que les auteurs recrutent d'avantage de sujet de manière à augmenter la puissance statistique de leur étude. Cependant, cette étude est loin d'être la seule à avoir montré que le CROM était un bon outil clinique, par conséquent cette étude permet de confirmer des résultats similaires rapportés par d'autres auteurs.

---

# FICHE DE LECTURE

---

## FICHE DE LECTURE XI

—

### Torsion oculaire humaine lors d'un vol parabolique : analyse avec des lentilles magnétiques

---

AUTEUR: CHEUNG B.S.K, MONEY K, HOWARD I, KIRIENKO N, JOHNSON W,  
LACKNER J, DIZIO P, EVANOFF J

TYPE DE DOCUMENT : Article scientifique (étude prospective)

SOURCE: Experimental Brain Research, Vol 90

DATE DE PARUTION : 1992

NOMBRE DE PAGES : 9 pages (pages 180 – 188)

RESUME (THESE SOUTENUE):

Cette étude prospective a pour objectif d'étudier l'amplitude de la contre rotation oculaire (CRO) lors d'une série de vol parabolique (20 par sujets) en micro gravité (0,02–0,03 g), et hyper gravité (1,4-1,8g). Les auteurs ont recruté 6 sujets pour lesquelles ils ont mesuré la CRO statique tête inclinée et tête droite ainsi que la CRO dynamique lors d'inclinaison successive. Les résultats montrent que la CRO en microgravité est significativement différente de la CRO mesuré en hyper gravité et en gravité normal.

# FICHE DE LECTURE

## PLAN DE L'ARTICLE :

- Introduction
  
- Méthodes
  - Le vol parabolique
  - Les sujets
  - Enregistrement des mouvements oculaires
  - procédure
  - Recueil des données et analyse
  
- Résultats
  
- Discussion
  
- Remerciements
  
- Références

MOTS CLES : torsion oculaire, vol parabolique, tête inclinée

## ANALYSE GENERALE – PRINCIPALES ETAPES DU RAISONNEMENT :

L'objectif de cette étude était de savoir si la CRO pouvait être influencé par la micro gravité ou l'hyper gravité. Pour cela, les auteurs ont donc recruté 6 sujets et les ont fait embarquer à bord d'un avion dans le but de le faire subir une série de vol parabolique. Chaque sujet a donc subit 20 vols paraboliques de manière à évaluer la CRO dans différentes conditions qui sont :

- Tête inclinée à droite et à gauche de 10°, 20° et 30°
- Tête en rectitude
- Inclinaison dynamique de la tête à une fréquence allant de 0,33 à 0,55 Hz

---

# FICHE DE LECTURE

---

Les sujets sont placés assis en face d'un écran sur lequel apparaît un point que le sujet doit fixer afin de bloquer son regard. L'inclinaison se fait via un système comportant un embout buccal et selon un axe naso-occipital. Pour enregistrer la contre rotation oculaire, les auteurs de cette étude ont utilisé des lentilles magnétiques.

Les résultats montrent que la CRO statique varie de manière significative lorsque l'on passe d'une situation en gravité normal à une micro gravité ainsi que lors du passage de la micro gravité à l'hyper gravité. Dans les conditions normales on constate en moyenne (toute inclinaison confondus) une CRO statique de  $3,23^\circ$  (gain de 0,16) contre une CRO moyenne statique de  $0,76^\circ$  (gain de 0,05) en micro gravité et une CRO moyenne de  $4,13^\circ$  (gain de 0,23) en hyper gravité.

Parallèlement à cela, lors d'une inclinaison dynamique à 33Hz la CRO dynamique ne semble pas réellement affectée par les conditions de micro gravité. En effet on constate que le gain moyen passe de 0,22 à 0,28 lors du passage de la gravité normale à la micro gravité. Malgré que les résultats montrent une augmentation de la CRO dynamique lorsque la gravité et la fréquence augmentent (passage de 0,33Hz à 0,55Hz), on remarque que la gravité n'influence pas de la même manière la CRO statique et la CRO dynamique.

## INTERET DE L'ARTICLE, COMMENTAIRE CRITIQUE ET QUESTIONNEMENT :

L'intérêt de cet article repose sur le fait que cette étude montre que la CRO dépend véritablement des conditions de gravité. En effet le postulat de base est que la CRO dépend en grande partie du système otolithique de l'oreille interne. Par conséquent le fait que la CRO soit proche zéro lorsque le sujet se trouve en micro gravité confirme la théorie selon laquelle le système otolithique est directement responsable de la torsion oculaire. De plus l'étude a montré que la CRO n'était pas significativement différente lorsque la tête était inclinée et lorsque la tête était en rectitude lors de la période de micro gravité. Cela renforce encore plus l'idée selon laquelle la CRO serait d'origine otolithique. Si on ajoute à cela le fait que lors de la micro gravité, la CRO dynamique ne diminue pas mais augmente, cela signifie qu'en condition statique la contre rotation est d'origine otolithique tandis qu'elle est d'origine canalaire lors d'inclinaison dynamique.

---

# FICHE DE LECTURE

---

## FICHE DE LECTURE XII

—

Dépendance entre la variabilité de la verticale visuelle subjective et la variabilité de la contre rotation oculaire lors de l'inclinaison de la tête

---

AUTEUR : TARNUTZER A.A, BOCKISCH C.J, STRAUMANN D

TYPE DE DOCUMENT : Article scientifique (étude prospective)

SOURCE: Experimental Brain Research, vol 195

DATE DE PARUTION : 2009

NOMBRE DE PAGES : 6 pages (pages 621 – 626)

RESUME (THESE SOUTENUE) :

Les auteurs de cette étude ont comparé la variabilité de la contre rotation oculaire (CRO) à la variabilité de la verticale visuelle subjective (VVS) lors de l'inclinaison de la tête. Pour ce faire, ils ont recruté 6 sujets et ont mesuré leur CRO ainsi que leur VVS lorsque d'une inclinaison corps entier de 45° et 75° sur la droite. Les résultats montrent que les valeurs relatives à la variabilité de la CRO et à la variabilité de la VVS, varient dans les mêmes proportions et sont statistiquement corrélés.

# FICHE DE LECTURE

---

## PLAN DE L'ARTICLE :

- Résumé
  
- Introduction
  
- Matériel et méthodes
  - Sujets
  - Paramètre expérimentaux
  - Protocol expérimental
  - Analyse des donnés
  
- Résultats
  
- Discussion
  
- Remerciements
  
- Références

MOTS CLES : vestibulaire, système otolithique, contre rotation oculaire

## ANALYSE GENERALE – PRINCIPALES ETAPES DU RAISONNEMENT :

L'objectif des auteurs étaient d'étudier si la variabilité de la CRO et la variabilité de la VVS étaient statistiquement corrélé et si la différence entre ces deux variables était significativement différente de zéro. Pour cela les auteurs ont recruté 6 sujets et ont enregistré leur CRO ainsi que leur perception de la verticale lors d'une série d'inclinaison corps entier. Chaque sujet a été incliné de 45° sur la droite et de 75° sur la droite. Pour chaque inclinaison, 40 mesures de la CRO et 40 mesures de la VVS ont été réalisé.

---

# FICHE DE LECTURE

---

Afin d'incliner les sujets, les auteurs ont utilisé un système de fauteuil permettant d'incliner les sujets dans le plan frontal. Pour mesurer la CRO relative à l'inclinaison, les auteurs ont utilisé des lentilles magnétiques.

Les résultats de cette étude ont montré que, lorsque l'inclinaison du corps augmente, alors la variabilité de la CRO et de la VVS augmente. Malgré une augmentation commune de leurs variabilités, on constate qu'elle n'augmente pas dans les mêmes proportions et que la variabilité de la VVS est bien plus importante que celle de la CRO. Les auteurs ont donc décidé de « normaliser » leurs valeurs en divisant la variabilité de la CRO et de la VVS de chaque sujet par l'erreur type de l'ensemble de l'échantillon relative à la CRO et à la VVS. A partir de là, les auteurs ont constaté qu'il n'y avait pas de différences significative entre la CRO normalisé et la VVS normalisé. Parallèlement à cela, ils ont comparé la variabilité de la CRO et celle de la VVS en fonction des différentes inclinaisons et ont montré l'existence d'une corrélation assez importante ( $R= 0,80$ ) entre ces deux variables.

## INTERET DE L'ARTICLE, COMMENTAIRE CRITIQUE ET QUESTIONNEMENT :

L'intérêt de cet article repose sur le fait que les auteurs se soit intéressés à comparer la contre rotation oculaire et la VVS. Peu d'article existe à ce sujet, et c'est pourquoi cet article est assez original et intéressant pour notre étude. Le fait que les auteurs aient rapportés l'existence d'une corrélation entre la variabilité de la CRO et celle de la VVS n'avait encore jamais été démontré. Malgré cela, il est important de constater que l'étude comporte une très faible puissance ( $n= 6$ ) et que par conséquent les résultats rapportés sur cet échantillon ne reflètent pas réellement les résultats qui seraient issue d'une population plus importante. On sait que la CRO et la VVS sont deux variables qui présentent une forte variabilité intra essai et inter-individuelle, par conséquent pour s'assurer que cette corrélation soit bel et bien réelle il est nécessaire et indispensable de disposer d'un échantillon plus important. En définitive, malgré des résultats intéressants leur étude ne compte pas suffisamment de sujet, et n'a qu'une faible puissance statistique.

---

# FICHE DE LECTURE

---

## FICHE DE LECTURE XIII

—

### L'Homme utilise un modèle interne pour construire et actualisé le sens de verticalité

---

AUTEUR : BARRA J, MARQUER A, JOASSIN R, REYMOND C, METGE L,  
CHAUVINEAU V, PERENNOU D

TYPE DE DOCUMENT : Article scientifique (Etude clinique prospective)

SOURCE: Brain, A Journal Of Neurology, Vol 133

DATE DE PARUTION : Avril 2010

NOMBRE DE PAGES : 12 pages (pages 3552 – 3563)

RESUME (THESE SOUTENUE) :

Dans cette étude les auteurs cherchent à savoir s'il existe une différence significative entre la perception de la verticale chez les sujets sains, chez les paraplégiques et chez les hémiparaplégiques et par conséquent le degré d'implication des informations vestibulaires et somato-sensoriels. Pour cela, les auteurs ont recrutés 39 sujets sains ainsi que 37 sujets paraplégiques ou hémiparaplégiques. Les résultats montrent que la perception de la verticale n'est pas la même pour les sujets sains que pour les sujets présentant des lésions cérébrales ou médullaires et que par conséquent la combinaison d'informations

---

# FICHE DE LECTURE

---

proprioceptives et vestibulaires est indispensable pour avoir une bonne perception de la verticale.

## PLAN DE L'ARTICLE :

- Introduction
  
- Matériels et méthodes
  - Participants
  - Procédure
  - Analyse des données
  
- Résultats
  - Précision de la VVS
  - Influence de la lésion cérébrale
  - Influence de la localisation de la lésion
  - Variabilité de la VVS
  
- Discussion
  
- Conclusion
  
- Financement
  
- Référence

MOTS CLES : Verticale visuelle ; information somato-sensorielle ; Effet Aubert ; VVS

# FICHE DE LECTURE

## ANALYSE GENERALE – PRINCIPALES ETAPES DU RAISONNEMENT :

Pour déterminer comment la proprioception et les informations vestibulaires influence la perception de la verticale, les auteurs ont comparé la VVS de 39 sujets sains à la VVS de 23 sujets ayant eu un AVC et la VVS de 14 sujet paraplégiques lorsque la tête est en rectitude et lorsque la tête est inclinée de 50° pour les sujets sains et les sujets paraplégique et lorsque la tête est inclinée de 30° pour les sujets hémiparalysé.

### Tête en rectitude les résultats montre que :

- La VVS des sujets paraplégiques n'est pas significativement différente de celle des sujets sains et donc de 0°.
- La VVS des sujets hémiparalysés est significativement différentes de celle des sujets sains avec une déviation moyenne de  $-4,7^{\circ} \pm 4,7^{\circ}$  du côté controlatéral à la lésion.

### Tête inclinée les résultats montre que :

- La VVS des sujets paraplégiques n'est pas significativement différente de celle constaté tête en rectitude.
- La VVS des sujets hémiparalysés dépend du côté de l'inclinaison. En effet si le sujet est incliné du côté de la lésion cérébrale alors la VVS n'est pas significativement différente de zéro et donc dévié par rapport à la VVS tête en rectitude. A l'inverse si le patient est incliné du côté opposé à la lésion alors on constate une VVS semblable à la VVS tête en rectitude et donc déviée du côté opposé à la lésion.

D'après ces résultats, les auteurs en ont déduit que la perception de la verticale n'était pas biaisée par l'absence d'information proprioceptive chez les sujets paraplégiques. L'analyse du niveau de la lésion médullaire n'apporte pas plus de précision puisque que le niveau de la lésion ne semble pas corrélé à la perception de la VVS ou à l'effet Aubert.

On constate que les patients paraplégique ont une résistance à l'effet Aubert, tout comme les patients hémiparalysé lorsqu'ils sont incliné du côté controlatérale à la lésion.

---

# FICHE DE LECTURE

---

Les auteurs ont comparé et superposé des images cérébrales de patients cérébrolésés ayant une bonne perception de la verticale aux images cérébrales de patients aussi cérébrolésés ayant une perception biaisée de la verticale. Les résultats de cette superposition indiquent que l'insula et la région postéro latérale du thalamus sont des zones clés dans la perception de la verticale.

L'analyse de la variabilité de la VVS indique que lorsque la tête est en rectitude la variabilité des sujets sains est moins élevée que celle des sujets paraplégiques. À l'inverse lorsque la tête est inclinée la variabilité de la VVS est plus élevée chez les sujets sains que chez les sujets paraplégiques. Pour les sujets hémiparaplégiques, on constate que la variabilité de la VVS est nettement plus élevée que celle des sujets sains quel que soit le côté de l'inclinaison. Tout cela indique que les informations somato-sensorielles jouent un rôle capital dans la perception de la verticale.

## INTÉRÊT DE L'ARTICLE, COMMENTAIRE CRITIQUE ET QUESTIONNEMENT :

L'intérêt majeur de cet article repose sur le fait que les auteurs comparent la perception de la verticale chez des patients présentant des atteintes somato-sensorielles unilatérales (sujets hémiparaplégiques) et bilatérales (sujets paraplégiques). Le premier constat qui nous saute aux yeux est le fait que les sujets paraplégiques aient une perception de la verticale semblable à celle des sujets sains. Cela laisse sous-entendre que des compensations centrales se sont mises en place de manière à compenser la perte d'information proprioceptive. Dans l'idéal, il aurait été intéressant de comparer des sujets paraplégiques entre eux de manière à déterminer si des sujets paraplégiques de longue date ont la même perception de la verticale que des sujets paraplégiques présentant de récentes lésions médullaires. Le deuxième constat est que la déviation de la verticale n'est pas la même en fonction de si l'atteinte somato-sensorielle est unilatérale ou bilatérale. Cela indique que dans le cas d'une atteinte unilatérale, il existe une asymétrie d'information qui se reflète sur la perception de la verticale.

---

# FICHE DE LECTURE

---

## FICHE DE LECTURE XIV

—

### Le sens de verticalité est-il vestibulaire ?

---

AUTEUR : BARRA J, PERENNOU D

TYPE DE DOCUMENT : Article scientifique – Mise au point (review)

SOURCE : Clinical Neurophysiology, Vol 43

DATE DE PARUTION : Mars 2013

NOMBRE DE PAGES : 8 pages (pages 197-204)

RESUME (THESE SOUTENUE) :

Cet article est une mise au point dont l'objectif est d'expliquer et de déterminer le sens de verticalité en analysant près de 90 références bibliographiques.

Au fil des années, différentes théories se sont succédé pour expliquer la notion de verticalité. A l'origine il était admis que le sens de verticalité était d'origine vestibulaire, puis au fil des années cette théorie a laissé place à celle du modèle interne définissant le sens de verticalité comme étant l'intégration d'un ensemble d'afférences vestibulaire, proprioceptive, et visuelle. Cette organisation définis comme « bottom-up » n'est pas aussi simple que ça, puisque qu'aujourd'hui des études rapportent l'influence d'information « top-down » comme la conscience de l'orientation corporelle sur la perception de la verticale.

# FICHE DE LECTURE

## PLAN DE L'ARTICLE :

- Le sens vestibulaire est un codeur de gravité
- Qu'est-ce que le sens de verticalité ?
- Le sens de verticalité est poly sensoriel
- Le sens de verticalité implique des modèles internes de verticalité
- Le sens de verticalité peut être modulé par des processus cognitifs de haut niveau
- Conclusion

MOTS CLES : Sens de verticalité ; Vestibulaire ; Somesthésique ; top-down

## ANALYSE GENERALE – PRINCIPALES ETAPES DU RAISONNEMENT :

Il est admis que le système otolithique de l'oreille interne se comporte comme un véritable fil à plomb et est directement impliqué dans la construction du sens de verticalité. Actuellement la localisation du cortex vestibulaire n'est pas encore certaine. Selon différentes études, il pourrait se trouver au niveau insulaire, rétro-insulaire ou operculaire, mais ce sujet est encore débattu. Nous savons que certaines lésion vestibulaire unilatérale basse dévie la verticale du côté de la lésion tandis que lésions vestibulaire haute dévie la verticale du côté opposé à la lésion.

« Le sens de verticalité peut être défini comme étant l'aptitude de l'être humain à percevoir explicitement la direction de la verticale, à élaborer une représentation mentale de verticalité à partir de sa perception de la verticale, et à utiliser cette représentation explicitement ou implicitement pour s'orienter (contrôle de la posture érigée) ou orienter une partie de son environnement spatial ».

---

# FICHE DE LECTURE

---

Cette citation directement tiré de cet article signifie que le sujet est capable de déterminer la verticalité d'un objet ou d'ajuster sa position pour se mettre dans l'axe de la verticale terrestre avec une précision de  $1^\circ$ . Les auteurs considèrent que le seuil de déviation pathologique de la verticale est de  $2,5^\circ$ .

Le sens de la verticalité est poly sensoriel. En effet il a été démontré que des perturbations visuelles telles que l'optocinétisme (stimulation dynamique) ou la présence de cadre ou d'objet incliné (stimulation statique) pouvaient perturber la perception de la verticale. Cela suggère que les informations visuelles influencent fortement la perception du sujet sur l'environnement qui l'entoure.

Parallèlement aux informations visuelles, il a été démontré que les informations somato-sensorielles joue un rôle important dans la perception de la verticale. En effet d'après de nombreuses études, nous savons que des altérations de la somesthésie ont un impact négatif et entraîne une augmentation de la déviation de la verticale. En dehors de toute altération pathologique, on constate que pour une faible inclinaison de la tête ou du corps, la verticale est déviée du côté opposé à l'inclinaison de la tête (c'est l'effet Muller), tandis qu'elle est déviée du côté homolatérale à l'inclinaison lors de forte inclinaison (c'est l'effet Aubert). Actuellement aucun consensus ne peut expliquer ce phénomène. Pour tenter d'expliquer ce phénomène, deux théories ont été avancé. La première théorie serait que ce phénomène soit dû à la contre rotation oculaire lors de l'inclinaison de la tête et la deuxième que ce phénomène soit dû à une défaillance otolithique.

Comme expliqué précédemment, la perception de la verticale se fait via une organisation « bottom-up » qui met en jeu un ensemble d'informations vestibulaires, visuelles et somesthésiques. Récemment il a été démontré que la perception de la verticale pouvait être influencée par la conscience de sa propre orientation et que l'image mentale d'une situation spécifique pouvait influencer la perception de la verticale. C'est l'organisation « Top-down ».

---

# FICHE DE LECTURE

---

## INTERET DE L'ARTICLE, COMMENTAIRE CRITIQUE ET QUESTIONNEMENT :

Cet article est intéressant car nous permet d'avoir un véritable état des lieux sur les connaissances relatives à la perception de la verticale. Beaucoup d'étude ont été réalisées à ce sujet, et il est parfois difficile de faire la part des choses entre toutes les informations disponibles. De ce fait grâce à cet article, nous disposons maintenant d'un ensemble de références plus intéressantes les unes que les autres.

En multipliant les recherches, il est assez aisé de trouver des informations sur la perception de la verticale, cependant le véritable atout de cet article, est cette nouvelle théorie expliquée par les auteurs, selon laquelle la perception de la verticale ne se limiterait pas à un système classique d'intégration d'information, mais serait associé à un processus conscient et mentale.

---

# BIBLIOGRAPHIE

---

---

# SOMMAIRE BIBLIOGRAPHIQUE

---

**AUDETTE I, DUMAS J.P, COTE J.N et al, 2010, « Validity and between-day reliability of the cervical range of motion (CROM) device », Journal of Orthopaedics & Sports Physical Therapy, Vol 40, n°5, pages 318-323.**

AKIN F.W, MURNANE O.D, 2009, « Clinical assessment of otolith function », Perspectives on Hearing and Hearing Disorders Research and Diagnostics, Vol 13, n°2, pages 29-39.

ANASTASOPOULOS D, BRONSTEIN A, HASLWANTER T et al, 1999, « The role of somatosensory input for the perception of verticality », Annals of the New York Academy of Sciences, Vol 871, pages 379-383.

ANASTASOPOULOS D, HASLWANTER T, BRONSTEIN A et al, 1997, « Dissociation between the perception of body verticality and the visual vertical in acute peripheral vestibular disorder in humans », Neuroscience Letters, Vol 233, pages 151-153.

ANTONACI F, GHIRMAI S, BONO G et al, 2000, « Current methods for cervical spine movement evaluation: A review », Clinical and Experimental Rheumatology, Vol 18, n° 19, pages 45-52.

**BARRA J, MARQUER A, JOASSIN R, et al, 2010, « Humans use internal models to construct and update a sense of verticality », Brain: A Journal of Neurology, Vol 133, 3552-3563.**

**BARRA J, PERENNOU D, 2013, « Le sens de la verticalité est-il vestibulaire ? », Clinical Neurophysiology, Vol 43, pages 197-204.**

BAUDOT J-Y. Index, statistiques – Analyse de données. [14.10.2014], disponible sur internet : <http://www.jybaudot.fr/General/indexstats.html>.

---

# SOMMAIRE BIBLIOGRAPHIQUE

---

BISDORFF A.R, WOLSLEY C.J, ANASTASOPOULOS D, et al, 1996, « The perception of body verticality in peripheral and central vestibular disorders », *Brain and Language*, Vol. 119, pages 1523-1534.

BOHMER A, 1999, « The subjective visual vertical as a clinical parameter for acute and chronic vestibular (otolith) disorders », *Acta Oto-laryngologica*, Vol 119, pages 126-127.

BONAN I, DAMPHOUSSE M, LEBLONG E et al, 2012 « Intérêts et limites des mesures de verticalité subjective pour l'évaluation des troubles de l'équilibre » *La lettre de médecine physique*, Springer, Vol 28 page 145-152.

**CHEUNG B.S.K, MONEY K, HOWARD I, et al, 1992, « Human ocular torsion during parabolic flights: an analysis with scleral search coil », *Experimental Brain Research*, Vol 90, pages 180-188.**

CLARKE A.H, KORNILOVA L, 2007, « Ocular torsion response to active head-roll movement under one-g and zero-g conditions », *Journal of Vestibular Research*, Vol 17, pages 99-111.

**CLEMENT G, DENISE P, RESCHKE MILLARD F, WOOD S.J, 2007, « Human ocular counter-rolling and roll tilt perception during off-vertical axis rotation after spaceflight », *Journal of Vestibular Research*, Vol. 17, pages 209-215.**

COOPERSTEIN R, CLARK T.A, WHITNEY T, 2014, « Agreement of upright and supine measurements of active cervical rotation », *Journal of the Academy of Chiropractic Orthopedists*, Vol 11, n°4, pages 4-12.

DE GRAAF B, BEKKERING H, ERASMUS C et al, 1992, « Influence of visual vestibular, cervical and somatosensory tilt information on ocular rotation and perception of the horizontal », *Journal of Vestibular Research*, vol 2, n°1, pages 15-30.

---

# SOMMAIRE BIBLIOGRAPHIQUE

---

DE GRAAF B, BOS J.E, GROEN E, 1996, « Saccular impact on ocular torsion », Brain Research Bulletin, Vol 40, pages 321-330.

DELORME A, FLUCKIGER M, 2003, « Perception et réalité : Une introduction à la psychologie des perceptions », Neurosciences & cognition, De Boeck, pages 322-323.

DE WAELE C, TRAN BA HUY C, 2005, « Exploration du système vestibulaire », EMC Oto-rhino-laryngologie, Vol 2, 139-159.

DIAMOND S.G, MARKHAM C.H, 1983, « Ocular counterrolling as an indicator of vestibular otolith function », Neurology, Vol. 33, pages 1-10.

DUNLEAVY K, GOLDBERG A, 2013, « Comparison of cervical range of motion in two seated postural conditions in adults 50 or older with cervical pain », Journal of Manual and Manipulative Therapy, Vol 21, n° 1.

FOURNEAU M, Généralités sur les bilans et la prise en charge rééducative de la fonction d'équilibration, [visité le 17.10.2014], disponible sur internet : <http://www.pbordure.free.fr>.

FRAMIRAL SARL. Manuel d'utilisation. [Visité le 13.10.2014], disponible sur internet : [http://www.framiral.fr/fr/doc/Documentation\\_Verticale\\_Subjective\\_rev2.pdf](http://www.framiral.fr/fr/doc/Documentation_Verticale_Subjective_rev2.pdf).

GANONG W, 2007, « Physiologie médicale », 2<sup>ème</sup> édition, Bruxelles : De Boeck, 849 pages.

GOFFINET A.M, 1994, « Anatomie clinique du système nerveux central », Belgique : Presses universitaires de Namur, 302 pages.

---

# SOMMAIRE BIBLIOGRAPHIQUE

---

**GOLTZ H.C, MIRABELLA G, LEUNG JOANNE C.Y, BLAKEMAN A.W, et al, 2009, « Effects of age, viewing distance and target complexity on static ocular counter roll », Vision Research, Vol 49, pages 1848-1852.**

GONZALEZ J.E, 2011, « Subjective Visual Vertical (SVV): part of the vestibular test battery », ASHA Convention, U.S.A, Bloomsburg University of Pennsylvania, 36 pages.

GROEN E, DE GRAAF B, BLES W et al, 1995, « Ocular torsion before and after 1 hour centrifugation », Brain Research Bulletin, Vol 40, pages 331-335.

GUERRAZ M, POQUIN D, OHLMANN T, 1998, « The role of head-centric spatial reference with a static and kinetic visual disturbance », Perception & Psychophysics, Vol 60, n°2, pages 287-295.

GUYOT J-P, CRESCENTINO V, 2008, « Evaluation de la fonction vestibulaire périphérique », Revue Médicale Suisse, Vol 173, pages 2085-2088.

**HOPPENBROUWERS M, WUYTS F.L, VAN DE HEYNING P.H, 2004, « Suppression of the E-effect during the subjective visual vertical test », NeuroReport, Vol 15, n°2, pages 325-327.**

KELDERS W.P.A, KLEINRENSINK G.J, VAN DER GEEST J.N, FEENSTRA L et al, 2003, « Compensatory increase of the cervico-ocular reflex with age in healthy humans », Journal of Physiology, Vol 553, n° 1, pages 311-317.

KINGMA H, 2006, « Function test of the otolith or statolith system », Current Opinion in Neurology, Vol 19, pages 21-25.

KOBAYASHI H, HAYASHI Y, HIGASHINO K, 2002, « Dynamic and static subjective visual vertical with aging », Auris Nasus Larynx - International Journal of ORL & HNS, Vol 29, pages 325-328.

---

# SOMMAIRE BIBLIOGRAPHIQUE

---

LOPEZ C, LACOUR M, AHMADI A.E et al, 2007, « Changes of visual vertical perception: A long-term sign of unilateral and bilateral vestibular loss », *Neuropsychologia*, Vol 45, pages 2025-2037.

LUYAT M, 1997, « Verticale visuelle subjective versus verticale posturale : une note sur l'étude de la perception de la verticale », *L'année psychologique*, Vol. 97, n° 3, pages 433-447.

MACDOUGALL H.G, MCGARVIE L.A, HALMAGYI G.M et al, 2013. « The Video Head Impulse Test (VHIT) Detects Vertical Semicircular Canal Dysfunction », *PLOS ONE*, Vol 8, n° 4, 10 pages.

MARS F, BRINGOUX L, CIAN C, et al 2005 « Perception of the vertical with a head-mounted visual frame: Implication for the design of helmet-mounted displays in aeronautics », *Le travail humain*, Presses Universitaire de France, Vol 68, pages 125-152.

MISHRA S.C, VRAT S, MISHRA A, 1999, « The Head-shaking nystagmus », *Indian Journal of Otolaryngology and Head & Neck Surgery*, Vol 52, n°1, pages 45-48.

MULLER G.E, 1916, « Uber das Aubertsche phänomen » *Zeitschrift für Sinnesphysiologie*, Vol. 49, pages 109-246.

NOMURA Y, WATANABE Y, IGARASHI M et al, 2000, « Ocular counter-rolling after prolonged alteration in the direction of gravity », *Nihon Jibiinkoka Gakkai Kaiho*, Vol 103, n° 8, pages 916-921.

NOOIJ S.A.E, VANSPAUWEN R, BOS J.E, et al, 2010, « A re-investigation of the role of utricular asymmetric in Space Motion Sickness », *Journal of Vestibular Research*, Vol.21, pages 141-151.

---

# SOMMAIRE BIBLIOGRAPHIQUE

---

**OOI D, CORNELL E.D, CURTHOYS I.S, et al, 2004, « Convergence reduces ocular counter roll (OCR) during static roll-tilt », Vision Research, Vol.4, pages 2825-283.**

PAILLARD A, 2010, « Perception de l'horizon visuel en milieu d'hyper pesanteur: Rôle des systèmes oculomoteur, otolithique et somesthésique », Thèse pour le Doctorat de Sciences Cognitives, Psychologie et Neurocognition : Université Joseph Fourier-Grenoble [visité le 10.01.2015], disponible sur internet : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/tel-00449574/document>.

**PALLA A, BOCKISCH C.J, BERGAMIN O, et al, 2005, « Residual Torsion Following Ocular Counter roll », Annals of the New York Academy of Sciences, vol. 1039, pages 81-87.**

PANSELL T, YGGE J, SCHWORM H.D, 2003, « Conjugacy of torsional eye movements in response to a head tilt paradigm », Investigative Ophthalmology & Visual Science, Vol 44, n°6, pages 2557-2564.

PERENNOU D.A, MAZIBRADA G, CHAUVINEAU V et al, 2008, « Lateropulsion, pushing and verticality perception in hemisphere stroke: a causal relationship », Brain : A Journal of Neurology, Vol 131, n° 9, pages 2401-2413.

PURVES D, AUGUSTINE G.J, FITZPATRICK D et al, 2011. « Neurosciences », Bruxelles : De Boeck Université, 960 pages.

RAHMAN Z, WOODDELL G.A, JOBSON D.J, 2001, « Retinex Image Enhancement: Application to Medical Images », NASA Langley Research Center, NASA Medical Imaging Conference, 17 juillet 2001, Greenbelt, Maryland U.S.A.

RAKOTOMALALA R, 2011, « Test de normalité : Techniques empiriques et tests statistiques », Lyon 02, 59 pages.

# SOMMAIRE BIBLIOGRAPHIQUE

RAYMOND J. Les macules otolithiques. [Visité le 16.10.2014], disponible sur internet : [http://www.neuroreille.com/levestibule/chapb/b2/f\\_accueil-chapb2.htm](http://www.neuroreille.com/levestibule/chapb/b2/f_accueil-chapb2.htm).

RIPPSTEIN Dr, Inclinomètre – Plurimètre. [visité le 22.09.2015], disponible sur internet : <http://www.dr-rippstein.ch/>.

SAEYS W, VEREECK L, BEDEER A et al, 2010, « Suppression of the E-effect during the subjective visual and postural vertical test in healthy subjects », European Journal of Applied Physiology, Vol 109, pages 297-305.

SAFIN J.L, 2000, « Orthopraxie et clinique posturale », in PIED, POSTURE ET MOUVEMENT, Congrès de posturologie, 2000, Paris.

**SCHWORM H.D, YGGE PANSELL T, LENNERSTRAND G, 2002, « Assessment of Ocular Counter roll during Head Tilt Using Binocular Video Oculography », Investigative Ophthalmology & Visual Science, Vol. 43, pages 662-667.**

Scientific European Federation of Osteopaths (SEFO). Les tests statistiques. [Visité le 14.10.2014], disponible sur internet : <http://scientific-european-federation-osteopaths.org/fr/les-test-statistiques>.

**SERRADOR J.M, LIPSITZ L.A, GOPALAKRISHNAN G.S et al, 2009, « Loss of otolith function with age is associated with increased postural sway measures » Neuroscience Letters, Vol. 465, pages 10-15.**

SEVERINSEN S.A., SORENSEN M.S, KIRKEGAARD M et al 2010, « Stereological estimation of total cell numbers in the young human utricular macula », Acta Otolaryngologica, Vol 130, pages 773-779.

Synapsys. Logiciel verticale subjective. [Visité le 13.10.2014], disponible sur internet : <http://www.synapsys.fr/fr/p-logiciel-verticale-subjective-35.htm>.

# SOMMAIRE BIBLIOGRAPHIQUE

SIRV, Anatomie et Physiologie. [Visité le 10.01.2015], disponible sur internet :

<http://www.vestib.org/oreille.html>.

**TARNUTZER A.A, BOCKISH C.J, STRAUMANN D, 2009, « Head roll dependent variability of subjective visual vertical and ocular counter roll », *Experimental Brain Research*, Vol 195, pages 621-626.**

TARNUTZER A.A, BOCKISCH C.J, STRAUMANN D, MARTI S, BERTOLINI G, 2014, « Static roll-tilt over 5 minutes distorts the internal estimate of direction of gravity », *Journal Of Neurophysiology*, Vol 112, pages 2672-2679.

TOUPET M, VAN NECHEL C, BOZORG GRAYELI A, 2014, « Influence of body laterality recovery from subjective visual vertical tilt after vestibular neuritis », *Audiology & Neurotology*, Vol 19, pages 248-255.

ULMER E, 2007, « Comment objectiver la presbyvestibulie ? », *Le journal faxé de l'orl*.

DE WAELE C, Anatomie de l'oreille. [Visité le 11.03.2015]. Disponible sur internet : <http://www.lesvertiges.com/fr/otoconies-recepteurs-otolithiques.html#corps>.

WADE S.W, CURTHOYS I.S, 1997, « The effect of ocular torsional position on perception of the roll-tilt of visual stimuli », *Vision Research*, Vol 37, n°8, pages 1071-1078.

WILLIAMS M.A, Mc CARTHY C.J, CHORTI A et al, 2010, « A systematic review of reliability and validity studies of methods for measuring active and passive cervical range of motion », *Journal Of Manipulative and Physiological Therapeutics*, Vol 33, n° 2, pages 138-155.

WOLFE J.M, KLUENDER K.R, DENIS M.L et al, 2012, « Sensation & Perception », 3<sup>ème</sup> édition, Sunderland Massachusetts U.S.A, Sinauer Associates Inc, 507 pages.

---

# SOMMAIRE BIBLIOGRAPHIQUE

---

**WUYTS F.L, FURMAN J, VANSPAUWEN R et al, 2007, « Vestibular function testing », Current Opinion in Neurology, Vol 20, pages 19-24.**

YASHIRO T, ISHII M, IGARASHI M et al, 1996, « Effects of 10 min tilt and visual directional information on ocular counter rolling ». ORL Journal of Oto-rhinolaryngology & Relat Spec, Vol 58, pages 301–303.

YELNIK A.P, LEBRETON F.O, BONAN I.V et al, 2002, « Perception of verticality after recent cerebral hemispheric stroke », Stroke, Vol 33, pages 2247-2253.

**ZINGLER V.C, KRYVOSHEY D, SCHNEIDER E et al, 2006, « A clinical test of otolith function: Static ocular counter roll with passive head tilt », NeuroReport, Vol 17, pages 611-615.**