



HAL
open science

Les relations entre les afférences sensorielles périphériques et l'oculomotricité dans le cadre du contrôle postural

Juliette Wemelle

► **To cite this version:**

Juliette Wemelle. Les relations entre les afférences sensorielles périphériques et l'oculomotricité dans le cadre du contrôle postural. Sciences du Vivant [q-bio]. 2020. dumas-03019190

HAL Id: dumas-03019190

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03019190>

Submitted on 23 Nov 2020

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

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



Les relations entre les afférences sensorielles périphériques et l'oculomotricité dans le cadre du contrôle postural

WEMELLE Juliette

Maitre de mémoire :
ORDINES Mélanie
Orthoptiste

Directrice des mémoires :
TRINQUET Laure
Directrice Pédagogique

Année Universitaire 2019-2020
Mémoire de fin d'études d'Orthoptie

Remerciement

Je souhaite remercier dans un premier temps ma tutrice de mémoire madame Mélanie Ordines, pour ses conseils, ses connaissances et son investissement qui m'ont permis de mener à bien ce mémoire.

Je souhaite également remercier Madame Laure Trinquet, notre directrice pédagogique de l'École d'Orthoptie de Marseille, pour l'accompagnement, les conseils, le soutien qu'elle nous a fourni durant nos années d'études.

Par ailleurs, je remercie également le Professeur Danièle Denis pour son accueil au cours de ces trois années au sein de ses différents services ophtalmologiques qui m'a permis d'effectuer des stages formateurs, ainsi que les différentes orthoptistes de ses services qui nous ont accompagnés et instruits durant nos trois années.

Je remercie le Doyen de la Faculté, Monsieur Georges Leonetti ainsi que Monsieur Philippe Berbis pour leur encadrement au sein de l'Université.

Je remercie les différentes orthoptistes Isabelle Odin Iozzino et Sylvie Mathey qui m'ont accueillie dans leurs cabinets durant ma formation et m'ont transmis leurs connaissances et leur passion.

Table des matières

| | |
|--|----|
| Résumé..... | 1 |
| Abstract | 2 |
| I. Introduction | 3 |
| II. Généralités..... | 3 |
| 1. Qu'est-ce que le contrôle postural ?..... | 3 |
| 2. Développement de la posture ² | 3 |
| 3. Fonctionnement du contrôle postural | 4 |
| 4. Bilan postural | 4 |
| 5. Anatomie ³ | 5 |
| 5.1 Anatomie du système nerveux..... | 5 |
| 5.2 Anatomie de l'oculomotricité ⁴⁵ | 6 |
| III. Afférence somesthésique..... | 8 |
| 1. Définitions | 8 |
| 2. Afférence proprioceptive..... | 8 |
| 2.1 Qu'est-ce que la proprioception ?..... | 8 |
| 2.2 Anatomie du corps humain..... | 8 |
| 2.3 Relation entre troubles cervicaux et troubles oculomoteurs ⁷ | 8 |
| 3. Afférence extéroceptive | 10 |
| 3.1 Qu'est-ce que l'extéroception ?..... | 10 |
| 3.2 Caractéristiques des extérocepteurs ⁹ | 10 |
| 3.3 Récepteurs tactiles plantaires | 11 |
| 3.4 Relation entre des modifications des afférences plantaires et impacts de celle-ci sur le contrôle postural et oculomoteur ¹¹ | 11 |
| IV. Afférence vestibulaire | 14 |
| 1. Anatomie du vestibule..... | 14 |
| 2. Conséquences d'une perturbation de la fonction vestibulaire sur l'oculomotricité | 15 |
| 2.1 Conséquences d'une perte vestibulaire bilatérale sur l'oculomotricité et la posture ¹³ | 15 |
| 2.2 Conséquences oculomotrices d'une perte vestibulaire unilatérale aigüe évaluées par bilan orthoptique | 18 |
| V. Afférence visuelle..... | 19 |
| 1. Anatomie du système visuel..... | 19 |
| 2. Effet d'un strabisme sur la posture..... | 19 |
| 2.1 Généralités..... | 19 |
| 2.2 Strabisme et posture ¹⁴ | 19 |
| 2.3 Relation entre une opération du strabisme et la posture..... | 20 |
| 2.4 Conclusion..... | 25 |
| 3. Effet d'une phorie sur la posture | 25 |

| | | |
|------|---|----|
| 3.1 | Généralités..... | 25 |
| 3.2 | Impact des phories verticales sur le contrôle postural..... | 25 |
| 4. | Déficiences visuelle et posture ¹⁸ | 27 |
| 4.1 | Introduction..... | 27 |
| 4.2 | Matériel et méthode..... | 27 |
| 4.3 | Résultats..... | 27 |
| 4.4 | Conclusion..... | 28 |
| VI. | Discussion..... | 28 |
| VII. | Conclusion..... | 30 |
| | Bibliographie :..... | 31 |
| | Annexes :..... | 33 |

Résumé

Les troubles de la posture, de nos jours concernent une majeure partie de la population. En effet 90% de la population, au moins une fois dans leur vie sera concernés par ceux-ci.

La posture est définie comme la position prise par le corps dans l'espace en position debout, les ajustements de celle-ci sont permis grâce aux informations transmises par différents systèmes afférents : le système somesthésique, le système vestibulaire et le système visuel.

L'oculomotricité a un rôle important dans le maintien d'une posture stable puisqu'elle permet grâce à différents systèmes reflexes de maintenir le regard stable.

Tout au long de ce mémoire nous avons cherché à étudier chaque entrée sensorielle et les liens de celle-ci avec la posture et l'oculomotricité. Toutes les études sur lesquelles nous nous sommes penchés ont montré la même chose : une modification d'une des afférences sensorielles a un impact sur l'oculomotricité et la posture. Un enrichissement des afférences cutanées améliore ainsi le contrôle postural et l'oculomotricité et au contraire, des troubles cervicaux, des atteintes vestibulaires et des atteintes visuelles desservent ceux-ci.

Mots clés :

Posture, oculomotricité, stabilité, système visuel, système vestibulaire, système somesthésique.

Abstract

Posture disorders nowadays affect a major part of the population. Indeed 90% of the population, at least once in their lives will be affected by them.

Posture is defined as the position taken by the body in space in a standing position, its adjustments are allowed thanks to the information transmitted by different related systems: the somatosomal system, the vestibular system and the visual system.

The oculomotricity has an important role in maintaining a stable posture since it allows, thanks to different reflex systems, to keep the gaze stable.

Throughout this dissertation we have sought to study each sensory input and its relationship to posture and oculomotricity. All the studies we have studied have shown the same thing: a change in one of the sensory afferences has an impact on oculomotricity and posture. An enrichment of skin afferents thus improves postural control and oculomotricity, and on the contrary, cervical disorders, vestibular disorders and visual impairments serve these.

Keywords :

Posture, oculomotricity, stability, visual system, vestibular system, somesthetic system.

I. Introduction

On estime aujourd'hui qu'une très petite partie de la population présente une posture « normale » c'est-à-dire¹ :

- Sur le plan sagittal : un axe passant par la calotte crânienne, la vertèbre C2, la troisième vertèbre lombaire et le centre du polygone de sustentation.

- Sur le plan frontal : différentes lignes doivent être maintenues à l'horizontal : la ligne bipupillaire, la ligne biragale (articulation de la mâchoire), la ligne bimamelonnaire, la ligne bistyloïdienne (entre les deux poignets), la ceinture scapulaire (entre les clavicules), et la ceinture pelvienne.

- Et sur le plan horizontal : il ne doit y avoir ni d'avancée d'une épaule par rapport à l'autre ou d'une fesse par rapport à l'autre.

Une personne possédant une posture comme celle présentée au-dessus ne se plaindra d'aucune douleur liée à une perturbation du système postural.

Cependant très peu de personnes présentent ce type de posture, on estime donc qu'une majorité de la population aura au moins une fois dans sa vie une douleur liée à un trouble de la posture. Cette bonne posture est induite par le traitement harmonieux des informations provenant des différentes entrées sensorielles (somesthésique, visuel et vestibulaire). Les ajustements corporels résultant de ce traitement seront des mouvements au niveau oculaire pour maintenir une vision stable et des mouvements musculo-articulaires pour modifier les différents tonus musculaires et réajuster la position des différents segments corporels dans l'espace.

Par ailleurs, on peut se demander dans quelle mesure la perturbation d'un des systèmes récepteurs de ces informations sensorielles peut affecter l'oculomotricité et le contrôle de la posture ?

II. Généralités

1. Qu'est-ce que le contrôle postural ?

La posture peut être définie comme la position prise par le corps ou l'une de ses parties dans l'espace. (Larousse)

Le contrôle postural, lui, est la capacité du corps à demeurer dans un alignement adéquat en station debout contre la gravité et en mouvement lorsqu'il subit des changements de position et d'orientation. On peut le résumer comme étant la capacité à maintenir dans une position particulière les segments corporels les uns par rapport aux autres à un instant donné.

Il est initié grâce à la convergence d'informations provenant de plusieurs systèmes récepteurs qui vont être analysés et comparés au niveau du cervelet, du cerveau et du pont pour déclencher des réflexes et permettre ainsi le réajustement du corps pour favoriser le maintien d'une posture adéquate.

Il a pour principaux buts de maintenir stable le corps face à la gravité et face aux différentes forces externes s'exerçant sur lui et de coordonner le maintien de l'équilibre du corps avec l'exécution du mouvement.

2. Développement de la posture²

La posture se développe principalement durant les 2 premières années de vie. On peut estimer que le contrôle de la posture est mature lorsque l'enfant arrive à garder une posture stable en position debout et arrive à orienter ses segments corporels dans l'espace.

Ce contrôle se développe en trois grandes étapes :

- Le contrôle de la tête : le maintien de la tête dans l'axe du corps est la première étape dans le développement de la posture : ce maintien permet à l'enfant de pouvoir commencer à orienter sa tête et son regard et va l'aider à découvrir le monde. Il est efficace généralement vers ses 3 mois.

- Le développement de la position assise : de ses 3 mois à ses 10 mois l'enfant va acquérir la position assise en passant par différentes étapes : Au début la position assise sera initiée par les parents qui mettent l'enfant dans cette position et lui cale le dos pour éviter qu'il ne tombe ; puis l'enfant acquerra une position assise instable penchée en avant pour finalement tenir une position stable avec le dos droit et pourra passer de la position couchée à la position assise tout seul. Cette position assise permettra à l'enfant d'avoir les mains libres pour attraper et transporter des objets.

- Enfin l'enfant acquerra une position debout ; elle se développe en parallèle de la station assise et est possible grâce au développement musculaire de l'enfant jusque dans ses membres inférieurs. Ce développement se déroule de ses 6 mois à ses 10 mois. Au début l'enfant aura besoin de l'aide de ses parents pour conserver une station debout, puis il y arrivera tout seul en se tenant à un objet, pour vers ses 10 mois, réussir à se maintenir seul en position debout stable. De cette position, par la suite sera initiée la marche.

3. Fonctionnement du contrôle postural

Le fonctionnement du contrôle postural est un système en boucle il est composé de :

- Trois systèmes récepteurs : le système somatosensoriel intégrant les informations extéroceptives et proprioceptives, le système vestibulaire et le système visuel.

- De systèmes effecteurs : l'oculomotricité pour permettre la stabilité des yeux et de réflexes locomoteurs pour permettre les ajustements des différents tonus musculaires et ainsi tenir une posture stable.

Le tonus musculaire est le niveau de tension, de « contraction » musculaire.

Il en existe différents types :

Le tonus de fond qui correspond à l'état de légère tension des muscles, involontaire et permanente, même au repos. Il est géré par le tronc cérébral. Le tonus postural qui représente l'activité tonique minimale permettant la station debout et le maintien des équilibres statiques, sous commande réflexe mais qui peut aussi être contrôlé volontairement. Le tonus d'action qui se définit par la contraction musculaire permettant l'action et le mouvement, en principe intentionnel, sous commande volontaire.

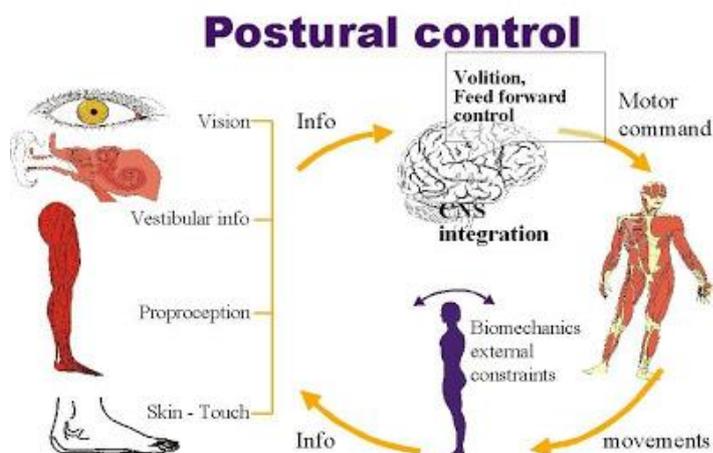


Figure 1 : Boucle de contrôle de la posture

4. Bilan postural

Le bilan postural a pour but, d'évaluer les points fort et les désordres du système de régulation de l'individu pour, par la suite, l'aider au mieux à réorganiser sa boucle de régulation et ainsi améliorer sa posture et son équilibre.

Lors d'un bilan posturologique le patient sera placé sur une plateforme de stabilométrie, les bras le long du corps. Cette plateforme se présente comme un pèse personne et permet d'enregistrer les variations des oscillations corporelles telles que : les excursions du centre de pression, la variance de la vitesse, ...). Un examen morphologique sera également réalisé :

l'examineur cherchera à mettre en lumière une possible déviation posturale. Pour ce faire il réalisera une observation du patient en position debout les bras le long du corps ; il regardera si les deux épaules, les deux côtés du bassin, et les deux genoux sont à la même hauteur. Par la suite il regardera si les pieds touchent bien de la même manière le sol, si les genoux ne sont pas déviés vers l'intérieur ou vers l'extérieur et enfin il se servira d'un fil de plomb tendu au niveau du dos pour vérifier les déviations de celui-ci. Ces tests permettent de mettre en évidence une déviation corporelle cependant il reste à l'examineur à trouver la cause de cette déviation pour la traiter au mieux. Pour ce faire différents examens pourront être réalisés les yeux fermés comparativement aux yeux ouverts pour s'assurer que l'entrée visuelle ne dessert par le contrôle postural. De même des examens pourront être effectués sur un tapis de mousse pour mettre en évidence le rôle de l'appui podal dans la régulation de notre posture. Ce bilan permettra de mettre en évidence l'entrée sensorielle défaillante et d'orienter au mieux le patient vers un professionnel de santé spécialisé dans les traitements de cette entrée (podologue, Orl, kiné, dentiste, ostéopathe, orthoptiste) pour prendre en charge son trouble et ainsi améliorer ses capacités posturales.

5. Anatomie ³

5.1 Anatomie du système nerveux

D'un point de vue anatomique la posture est régulée par différentes structures :

- Dans un premier temps on retrouve la moelle épinière. Elle est composée de deux structures : une structure blanche ou matière blanche formée par les axones des neurones. Elle se situe en périphérie de la moelle et d'une partie grise située au centre de la moelle composée des corps cellulaires des neurones. Elle sert de lieux de passage et de transit : elle transmet les informations motrices descendantes du cerveau et les informations sensorielles remontant dans le cerveau.

- Le tronc cérébral : Il comprend la moelle allongée, le pont et le mésencéphale ; il contient les nerfs crâniens de III à XII et les noyaux de ceux-ci. Il est le lieu de passage obligé de tous les nerfs entrant ou sortant du cerveau. Il peut être décrit comme étant le pilote des fonctions conscientes du corps.

- Le cervelet possède trois grandes fonctions qui sont : le maintien de l'équilibre et de la posture, le maintien du tonus musculaire et la coordination des activités motrices volontaires. Anatomiquement le cervelet est composé de plusieurs structures : les pédoncules cérébelleux séparés en trois niveaux (supérieur, moyen et inférieur), du cortex cérébelleux, de neurones et de fibres.

- Les noyaux gris centraux : ils filtrent les informations de commande du mouvement.

- Le cortex cérébral : le cerveau peut être séparé en 4 aires fonctionnelles ou lobes (frontal, pariétal, temporal et occipital). Chaque lobe est spécialisé dans l'intégration et le traitement d'information spécifique : le lobe frontal est responsable de la coordination motrice volontaire et de la coordination musculaire ; il a également une implication dans les fonctions de langage et de planification. Le lobe pariétal possède essentiellement des fonctions sensitives (perception du goût, du toucher, de la mémoire). Le lobe temporal qui a pour principales fonctions d'intégrer les informations auditives. Le lobe occipital qui est principalement impliqué dans le système visuel.

- Les différents nerfs crâniens (Annexe 1) : nous en possédons 12 paires. Ils peuvent être sensitifs, moteurs ou mixtes et ont pour but de transporter les informations sensitives perçues et les informations motrices transmises.

Les nerfs sensitifs sont le nerf olfactif, le nerf optique et le nerf vestibulo-cochléaire.

Les nerfs mixtes sont au nombre de 4. Ils possèdent à la fois une part motrice et une part sensitive. Le nerf V est le nerf trijumeau composé de trois branches : une première branche

sensitive formée par le nerf ophtalmique, une deuxième branche également sensitive correspondant au nerf maxillaire et enfin une troisième branche motrice composée du nerf mandibulaire. Les différentes branches du nerf V sont également liées au muscle extra oculaire par des connexions complexes. On comprend donc une possible relation entre le système manducateur et l'oculomotricité. Le nerf VII est le nerf facial, le nerf IX est le nerf glosso-pharyngien, le dernier nerf mixte est le nerf vague.

La dernière catégorie de nerfs correspond à des nerfs moteurs : les nerfs oculomoteurs : III (oculomoteur commun), IV (trochléaire), VI (abducens) ; le nerf XI ou nerf accessoire (spinal) et le nerf XII ou nerf hypoglosse.

5.2 Anatomie de l'oculomotricité⁴⁵

L'oculomotricité est définie comme correspondant à la mobilité des globes oculaires dans l'orbite.

Il existe deux grandes catégories de mouvement oculomoteur qui correspondent aux mouvements de stabilisation et les mouvements d'orientation. Dans la première catégorie nous retrouvons le réflexe vestibulo-oculaire (Figure 2) : celui-ci est engendré par une rotation de la tête dans un axe horizontal qui entraîne une activation du canal semi-circulaire horizontal. Celui-ci entraîne une excitation du neurone vestibulaire secondaire qui va décusser et venir activer le noyau abducens et ainsi provoquer une contraction du muscle droit latéral opposé au sens de rotation de la tête. Le neurone vestibulaire primaire, lui ne décusse pas et va, par le biais du noyau abducens ipsilatéral, entraîner un relâchement du muscle droit latéral. Ainsi si la tête tourne vers la droite, le muscle droit latéral gauche sera activé et le muscle droit latéral droit sera inhibé, ainsi les yeux effectueront un mouvement conjugué vers la gauche.

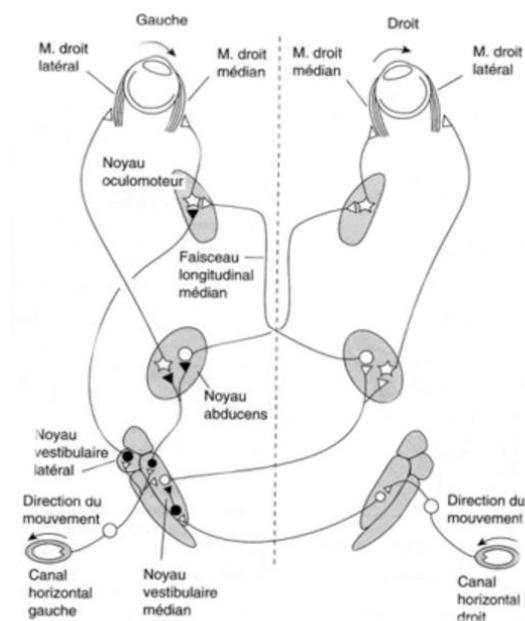


Figure 2 : Anatomie du réflexe vestibulo-oculaire

Le réflexe oculo-céphalique : le système optocinétique prend en compte les mouvements de l'environnement comme s'il s'agissait de mouvements de la tête. Lorsque la tête bouge dans l'espace, l'environnement défile sur la rétine dans le sens opposé à ces mouvements. Un mouvement de stabilisation est donc initié : le nystagmus optocinétique avec une phase de dérive lente (sens de défilement de l'environnement) et une phase de rappel rapide (phase de refixation).

Dans la deuxième catégorie de mouvements nous retrouvons les saccades (Figure 3). Ce sont des mouvements brefs. Le réseau neural qui contrôle les saccades est constitué de structures corticales, sous-corticales, du cervelet et du tronc cérébral : Celles-ci sont provoquées par une activation de la fibre motrice des muscles oculomoteurs due à une décharge de neurone moteur. Ces motoneurons ont reçu par l'ensemble du cerveau des signaux à composante phasique qui déterminent la vitesse de la saccade et des signaux à composante tonique qui déterminent l'amplitude de la saccade.

Nous retrouvons également les mouvements de poursuite. A la différence des saccades les mouvements de poursuite, eux, ne peuvent pas être déclenchés spontanément. Il s'agit de mouvements lents. Lors de son trajet (décrit dans la figure 4) nous pouvons notamment voir que comparativement au trajet des saccades, celui de la poursuite passe par les noyaux vestibulaires. Ceci peut donc mettre en évidence un premier lien entre les afférences vestibulaires et oculomotrices.

Enfin les mouvements de vergences, eux, sont des mouvement disconjugués. En effet, les deux yeux vont dans des sens opposés : soit en divergence (vers l'extérieur) soit en convergence (vers l'intérieur). Au niveau de leur trajet : Les images perçues par la rétine sont envoyées aux corps genouillés latéraux puis au cortex. Celui-ci réceptionne les signaux envoyés par les deux yeux. Par la suite les neurones moteurs du cortex occipital envoient des informations sur la disparité binoculaire à des centres de vergence au niveau du tronc cérébral qui déclencheront soit des mouvements de convergences, soit des mouvements de divergences.

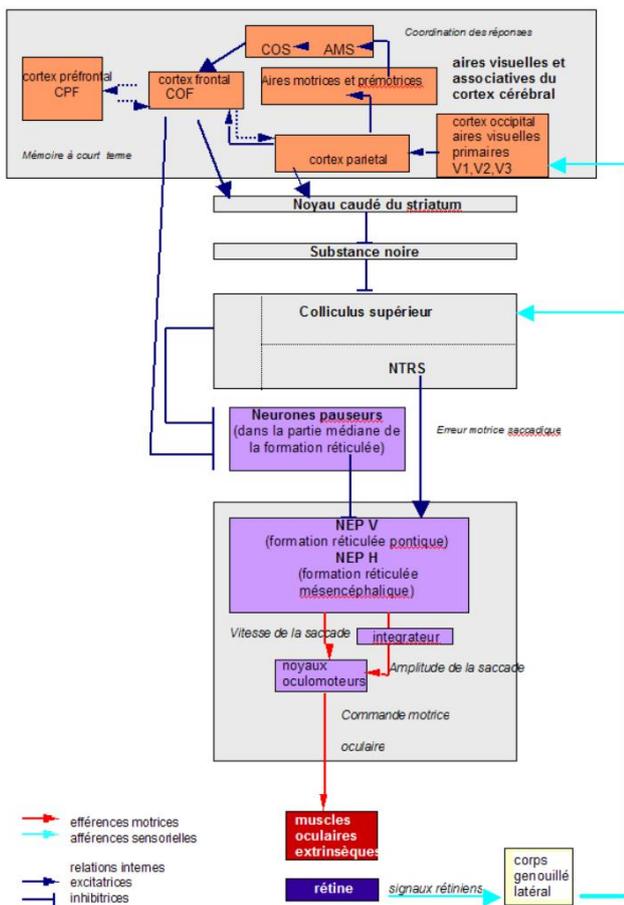


Figure 3 : Schéma de la boucle de production et de contrôle des saccades

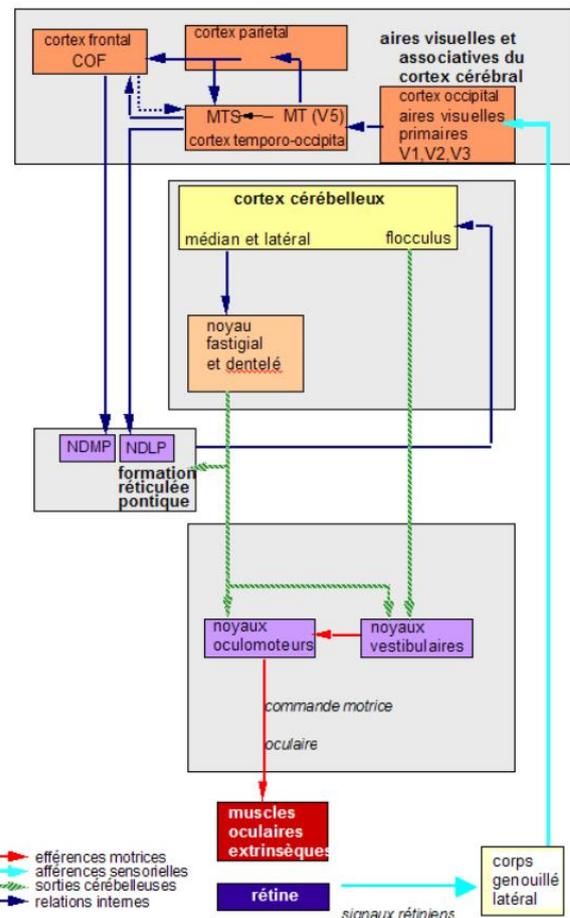


Figure 4 : Schéma de la boucle de production et de contrôle des poursuites

III. Afférence somesthésique

1. Définitions

La somesthésie correspond au domaine de la sensibilité qui concerne la perception consciente de toutes les modifications intéressant le revêtement cutané-muqueux, le système musculaire et ostéoarticulaire. (Larousse)

Les afférences somesthésiques regroupent donc tous les stimuli perçus au niveau des capteurs extéroceptifs de la peau et au niveau des capteurs proprioceptifs des articulations et des muscles.

2. Afférence proprioceptive

2.1 Qu'est-ce que la proprioception ?

La proprioception correspond à la sensibilité du système nerveux aux informations sur la posture et les mouvements venant des muscles et des articulations.

Elle est donc propre à chaque individu et permet au sujet de se représenter son corps et ses différents segments corporels dans l'espace.

Les propriocepteurs renseignent sur la position de la tête par rapport au tronc, sur le positionnement des différents membres et sur les oscillations du corps.

On retrouve différents types de récepteurs proprioceptifs⁶ qui ont pour but de percevoir les déplacements du centre de gravité. Il en existe trois grands types qui possèdent une fonction propre : Les récepteurs musculaires (fuseau neuromusculaire) sensibles à la longueur du muscle et à sa vitesse d'étirement, les récepteurs tendineux (récepteurs de Golgi) qui fournissent des informations sur la variation de force de contraction du muscle et les récepteurs articulaires (corpuscule de Pacini et de Ruffini) qui transmettent des informations sur la vitesse et l'accélération des mouvements, sur les vibrations et les positions des articulations.

2.2 Anatomie du corps humain

Le corps humain possède 639 muscles dont 570 muscles striés squelettiques c'est-à-dire ayant pour fonction d'assurer la motricité du corps dans son environnement, en permettant de faire bouger le squelette de manière volontaire. (Annexe 2)

Le corps humain possède également 206 os et entre 230 et 360 articulations.

Les tendons correspondent au tissu fibreux par l'intermédiaire duquel un muscle s'attache à un os. Les ligaments, eux, correspondent à un ensemble de fibres conjonctives serrées qui unissent deux os au niveau d'une articulation ou qui maintiennent un organe en place.

Dans cette partie nous allons nous pencher plus particulièrement sur les cervicales car elles représentent un élément majeur dans l'orientation de la tête et le maintien d'une posture de la tête stable.

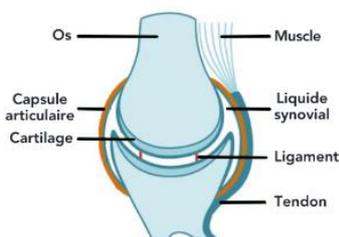


Figure 2 : composition d'une articulation

2.3 Relation entre troubles cervicaux et troubles oculomoteurs

2.3.1 Introduction :

Trois réflexes influencent la stabilité de la tête, des yeux et de la posture et dépendent des afférences cervicales : le réflexe cervico-colique (CCR), le réflexe cervico-oculaire (COR) et le réflexe tonique du cou (TNR).

Ces réflexes sont influencés par l'apport vestibulaire et visuel pour donner une stabilité coordonnée de la tête, des yeux et de la posture. Le COR travaille avec le réflexe vestibulaire-oculaire (VOR) et le réflexe optocinétique, agissant sur les muscles extra-oculaires, pour maintenir une vision stable pendant le mouvement de la tête. Ce réflexe répond aux signaux proprioceptifs qui proviennent des muscles profonds du cou.

Les vertèbres cervicales sont un élément essentiel dans le contrôle postural puisqu'elles permettent les mouvements de la tête et du cou comme la rotation, l'inclinaison, l'extension et la flexion. Les cervicales sont composées de 7 vertèbres de C1 à C7. Elles sont une partie de la colonne vertébrale. Elles forment une courbe orientée vers l'avant. Elles constituent la région du cou et sont localisées entre le crâne et les vertèbres thoraciques. Elles sont reliées entre elles par des ligaments. Elles possèdent également plusieurs surfaces articulaires pour assurer leur mobilité et sont recouvertes par la musculature du cou.

Pour mettre en évidence une possible corrélation entre des dysfonctionnements de la vision binoculaire et des troubles des cervicales nous nous sommes basés sur une étude réalisée par : Maria Carmen Sanchez-Gonzalez, Veronica Perez-Cabezas, Estanislao Gutiérrez-Sanchez, Carmen Ruiz-Molinero, Manuel Rebollo-Salas, José Jesus Jiménez-Rejano, qui se nomme : Nonstrabismic binocular dysfunctions and cervical complaints: The possibility of a cross-dysfunction⁷. Cette étude a été réalisée à Séville.

2.3.2 Matériel :

Après une sélection, 112 sujets ont été retenus pour participer à cette étude. Tous les sujets possédaient une acuité visuelle de 20/20 et avaient une absence de problèmes de motricité oculaire, de strabisme, de nystagmus, d'anomalie cornéenne, de diplopie, d'amblyopie et de pathologie oculaire, systémique, dégénérative, neurologique qui peuvent modifier l'indice d'invalidité du cou. De plus ils n'avaient pas subi de traumatisme crânien ou de fracture des cervicales.

L'âge moyen des participants était de 39,8 ans. Ils étaient à 54,5% des femmes (61) et 45,5% des hommes (51). Dans cette étude, en se basant sur l'état des variables déterminant la vision binoculaire, ils ont formé deux groupes de sujets : un « normal » et un « hors norme ».

2.3.3 Méthode :

Pour cette étude ils ont relevé un ensemble de données posturales tel que :

- L'étendue de l'articulation des cervicales mesurée en degrés dans les mouvements de rotation droite et gauche.
- L'état de la musculature profonde correspondant au score d'activation du muscle fléchisseur profond (AS) et à l'indice de performance (PI) et mesuré grâce au craniocervical flexion test.
- L'instabilité cervicale mesurée avec un questionnaire (Le NDI questionnaire).
- L'intensité de la douleur aux cervicales.
- L'évolution de la cervicalgie sur trois mois ou plus évaluée à l'aide d'une variable dichotomique qualitative nominale, présentant deux catégories "Oui/Non".

L'état de la vision binoculaire a été évalué grâce à la mesure de l'hétérophorie horizontale mesurée de loin et de près avec une barre de prisme et une cible accommodative, l'amplitude de fusion positive (convergence) et négative (divergence) mesurée à l'aide de prismes également, les vergences verticales de fusion mesurées à l'aide de prismes, la flexibilité des vergences mesurée en cycles par minute (cpm), quantifiée avec une combinaison prismatique 3Δ base interne (BI) /12 Δbase externe (BO).

2.3.4 Résultats (Annexe 3)

Au niveau des résultats, ils ont comparé les valeurs des variables liées à la douleur à celle liées à l'activité musculaire cervicale profonde et ont montré que seules les amplitudes de divergence de loin étaient modifiées chez les sujets ayant une vision binoculaire normale ou perturbée.

De plus chez les sujets présentant un état d'AS normal et hors de la norme, les chercheurs ont observé des différences significatives dans la valeur des variables qui décrivaient l'état de la vision binoculaire. En effet la vision binoculaire était plus stable chez les sujets ayant un état d'AS normal.

Les sujets atteints d'une déficience de la vision binoculaire possédaient une diminution de la réponse de la musculature cervicale profonde (avec de faibles niveaux d'AS et de PI). Ces sujets ont aussi montré une tendance plus importante à souffrir de cervicalgie qui évolue depuis plus de trois mois.

Ils ont également noté que chez les sujets n'ayant pas une vision binoculaire normale, le pourcentage avec un SA normal était plus faible.

2.3.5 Conclusion

Pour conclure, lors de cette étude les chercheurs ont réussi à mettre en évidence que des fonctions binoculaires instables pouvaient être corrélées à : un faible score d'activation du muscle du cou, un indice de performance des muscles profonds du cou diminué, une mobilité moindre du cou, un handicap fonctionnel plus grand et une douleur cervicale plus importante. Donc ils ont bien réussi à objectiver que l'oculomotricité et les cervicales sont liées ; ainsi un trouble des cervicales peut impacter l'oculomotricité et réciproquement, une instabilité binoculaire peut entraîner des troubles cervicaux.

3. Afférence extéroceptive

3.1 Qu'est-ce que l'extéroception ?

Les capteurs extéroceptifs (extérocepteurs) sont des récepteurs dont la sensibilité nerveuse dépend des récepteurs situés dans la peau et stimulés par des agents extérieurs à l'organisme comme la chaleur et la pression par exemple.

Il existe trois types d'extérocepteurs⁸ : les mécanorécepteurs, les thermorécepteurs et les nocicepteurs. Ils sont répartis dans les trois couches de la peau : l'épiderme (partie externe de la peau), le derme (partie moyenne de la peau) et l'hypoderme (partie profonde de la peau).

3.2 Caractéristiques des extérocepteurs⁹

Les mécanorécepteurs sont des extérocepteurs situés dans le derme et l'épiderme. Ils sont sensibles aux déformations de la peau.

Il en existe différents types aussi appelés corpuscules (Figure 3) :

- Les corpuscules de Meissner sont des récepteurs sensoriels situés dans des papilles dermiques logées juste sous l'épiderme ; ils sont d'adaptation rapide c'est-à-dire qu'ils déchargent quand le stimulus est mis ou retiré et sont particulièrement sensibles à la vitesse d'établissement du stimulus et aux vibrations superficielles.

- Les corpuscules de Ruffini sont des récepteurs sensoriels logés dans les articulations et le derme ; ils sont d'adaptation lente c'est-à-dire qu'ils déchargent tout au long de la durée d'application du stimulus et détectent la pression, l'intensité et la direction des étirements de la peau.

- Les corpuscules de Merkel ou disque de Merkel que l'on retrouve à la base de l'épiderme, sont d'adaptation lente et jouent un rôle dans la perception de la pression.

Et enfin, les corpuscules de Pacini sont localisés dans le derme et l'hypoderme ; ils sont d'adaptation rapide et sont sensibles aux vibrations intenses et profondes ; ils sont également sensibles aux accélérations contrairement aux autres mécanorécepteurs qui sont sensibles à la vitesse pure.

Les thermorécepteurs sont des récepteurs sensibles au changement de température. Ils peuvent être sensibles au chaud ; dans ce cas-là, ils seront actifs à partir de trente degrés. Cependant au-delà de quarante-cinq degrés ce seront les nocicepteurs qui s'activeront pour prévenir de la brûlure. Ils peuvent également être sensibles au froid : ils seront alors actifs entre vingt-cinq et trente degrés mais deviendront inactifs à dix degrés car ils seront anesthésiés par le froid.

Enfin les nocicepteurs sont des terminaisons nerveuses capables de transmettre les stimulations génératrices de douleurs. Ils en existent deux types : les nocicepteurs mécaniques activés par la distorsion de la peau et les nocicepteurs polymodaux qui eux s'activent par des stimulations mécaniques ou chimiques et par la chaleur intense.

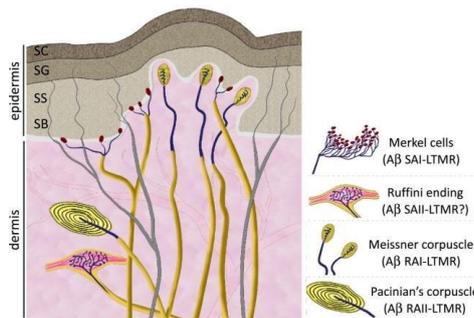


Figure 3 : Schéma de la répartition des mécanorécepteurs dans les différentes couches de la peau.

3.3 Récepteurs tactiles plantaires

Le pied est constitué de vingt-six os, seize articulations, cent-sept ligaments et vingt muscles. Il est constitué d'une face dorsale et d'une face plantaire.

La plante du pied est un organe glabre (dépourvu de poil). Elle est primordiale dans la réception des afférences extéroceptives car pourvue de nombreux capteurs tactiles. En effet, elle renferme une grande quantité de mécanorécepteurs.

La répartition de ces mécanorécepteurs a été étudiée par Kennedy et Inglis en 2002¹⁰. Dans leur étude, ils ont identifié cent-quatre mécanorécepteurs (Figure 4) : quinze d'adaptation lente de type 1 (corpuscule de Ruffini ou SAI), 16 d'adaptation lente de type 2 (corpuscule de Merkel ou SAII), 59 d'adaptation rapide de type 1 (corpuscule de Meissner ou FAI) et 14 d'adaptation rapide de type 2 (corpuscule de Pacini ou FAII) . On remarque que la majorité des récepteurs plantaires sont d'adaptation rapide.

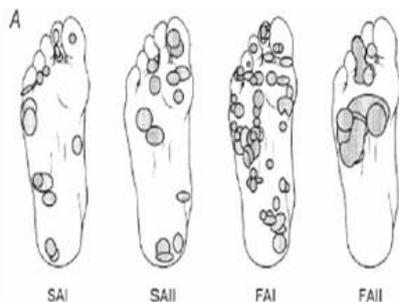


Figure 4 : répartition des mécanorécepteurs obtenue lors de cette étude.

3.4 Relation entre des modifications des afférences plantaires et impacts de celle-ci sur le contrôle postural et oculomoteur

3.4.1 Introduction :

Le but de ce mémoire étant de prouver qu'une modification des afférences sensorielles pouvaient engendrer des modifications de l'oculomotricité et du contrôle postural, nous nous sommes penchés sur une étude réalisée par Zoï Kapoula, Arnaud Foisy, C Gaertner et E Matheron, se prénommant : Nonstrabismic binocular dysfunctions and cervical complaints: The

possibility of a cross-dysfunction¹¹, et ayant pour but d'évaluer les effets de stimulations plantaires fines sur le contrôle postural et les mouvements oculaires de sujets jeunes en orthostatisme.

3.4.2 Matériel :

Cette étude a été réalisée sur 36 sujets de 20 à 35 ans (15 hommes et 21 femmes). Ils ne suivaient aucun traitement et ne souffraient d'aucun syndrome postural. Tous avaient des performances posturales normales dans le cadre des valeurs stabilométriques standard de l'Association Française de Posturologie (AFP).

Au niveau visuel : tous les sujets étaient emmétropes avec une acuité visuelle testée de près avec une échelle de Parinaud égale à P2 pour 33 d'entre eux et P3 pour 3. Leur vision stéréoscopique a été testée au TNO et était égale à 60 secondes d'arc ou moins pour tous. Leur PPC était de 5,07 cm (plus ou moins 2, 19).

3.4.3 Méthode :

Les sujets ont été testés sur une plate-forme de force pieds côte à côte, formant un angle de 30 degrés avec 4cm entre les talons. Les variations de leur centre de pression ont été enregistrées pendant 51,2 secondes. Les paramètres de surface, de variance de la vitesse et de la position moyenne du centre des pressions plantaires (CPP) ont été étudiés.

Tout cela leur a permis d'obtenir une évaluation précise des adaptations faisant suite à la modification des entrées sensorielles.

Les mouvements oculaires ont été enregistrés avec un vidéo-oculographe. Les stimulations plantaires fines étaient des inserts bilatéraux en résine de polyester de 3mm d'épaisseur, de dureté shore 60A et de densité 250 Kg/m³. (Figure 5)

Lors de cette étude, les sujets ont été placés sur la plateforme de force en position debout dans une ambiance mésopique, pieds nus, immobiles face à une table de diodes à hauteur de leurs yeux, la base de leur nez était alignée avec une diode centrale (Figure 6). Les diodes rouges étaient placées à 20, 40 et 150 cm des yeux des sujets. Ces diodes s'allumaient de manière aléatoire. Les sujets devaient les fixer lorsqu'elles s'allumaient ce qui leur faisait réaliser 10 mouvements de convergences et 10 de divergences. Trois conditions de stimulations plantaires, en ordre aléatoire ont été testées en même temps : sans stimulation (contrôle), avec un insert médio-interne (EMI ou MAS) et avec un insert médio-externe (EME ou LAS).

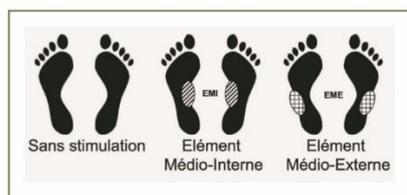


Figure 5 : Insert plantaire fin utilisé

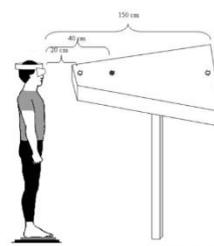


Figure 6 : Installation du patient sur une plateforme de force devant une table munie de diode

3.4.4 Résultats :

En ce qui concerne les résultats : au niveau des paramètres posturaux cette étude a montré une diminution de la surface d'oscillation du centre de pression avec l'EMI par rapport au contrôle d'environ 20mm² et de 15mm² avec l'EME (Figure 7) .

Ils ont également noté une diminution de la variance de la vitesse des oscillations du centre de pression avec l'EMI et l'EME par rapport au contrôle (Figure 8).

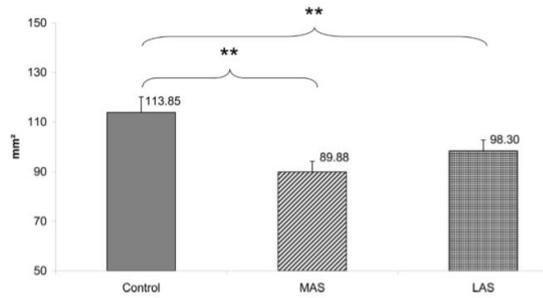


Figure 7 : Surface d'oscillation du centre de pression.

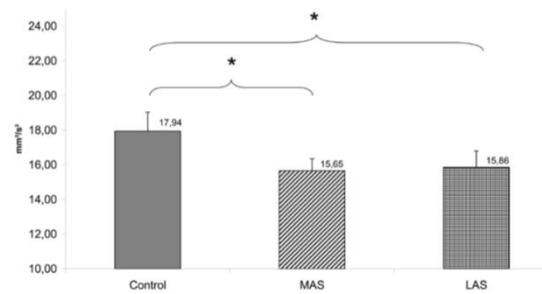


Figure 8 : Variance de la vitesse.

Au niveau oculomoteur, les résultats ne montrent pas de modification au niveau des saccades, ni de réelles différences dans les amplitudes de vergence totale (Figure 9).

Cependant ils ont noté que si l'on sépare l'amplitude phasique de l'amplitude tonique on peut noter des différences en fonction des différents stimuli (Figure 10 et 11).

En effet, ils ont pu voir une augmentation de l'amplitude phasique de divergence avec l'EMI par rapport au contrôle, une diminution de l'amplitude tonique de divergence avec l'EMI par rapport au contrôle et à l'EME et une augmentation de l'amplitude tonique de convergence avec l'EME par rapport au contrôle.

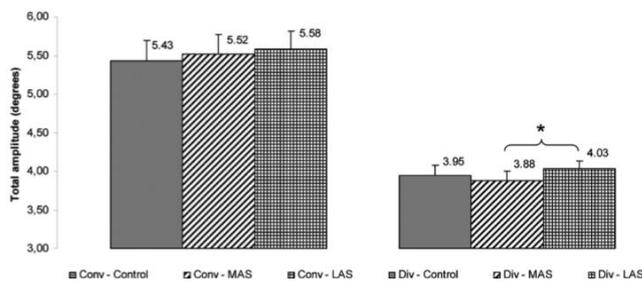


Figure 9 : Amplitudes totales recueillies

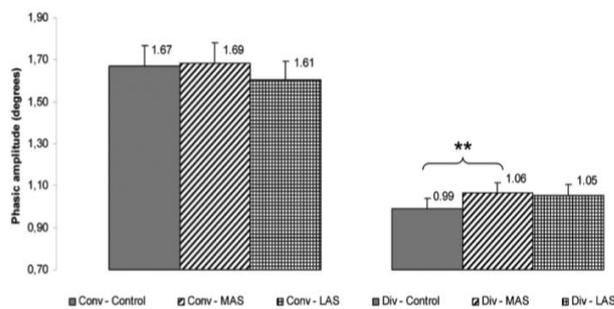


Figure 10 : Amplitudes phasiques obtenues

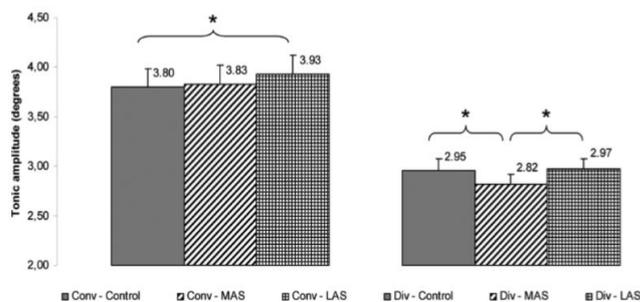


Figure 11 : Amplitudes toniques obtenues

3.4.5 Conclusion

Cette étude nous permet de conclure que les inserts medio-internes augmentent l'amplitude phasique de divergence et diminuent sa partie tonique. A l'inverse les inserts medio-externes augmentent l'amplitude tonique de convergence. Cela peut être dû à l'existence d'une zone commune des traitements des informations visuelles et podales dans le système nerveux central, mais le fait que les saccades ne soient pas modifiées, tend à prouver que la zone de traitement des saccades au sein du système nerveux central diffère de celle des vergences et des afférences podales.

Cette étude montre également par la diminution de la surface et de la variance de la vitesse des excursions du centre de pression que les inserts plantaires améliorent le contrôle postural. Ces résultats peuvent être dus aux enrichissements des afférences cutanées (par la différence de hauteur de 3 mm) créés par les stimulations et détectés par les nombreux mécanorécepteurs.

IV. Afférence vestibulaire

1. Anatomie du vestibule

L'oreille est composée de trois parties (Figure 12) ¹² :

- L'oreille externe (capteur) : elle a pour rôle de collecter les ondes sonores et de les diriger vers l'oreille moyenne. Elle comprend le pavillon qui est la partie visible de l'oreille. Il a pour but principal de diriger les ondes sonores vers le conduit auditif et de diminuer les différences de pression entre l'extérieur de l'oreille et l'intérieur de celle-ci. Le conduit auditif mesure deux à trois centimètres, a pour rôle de transmettre l'onde sonore au tympan. Celui-ci est une membrane située au bout du canal auditif et est très sensible à la pression des ondes sonores car celles-ci le font vibrer.

- L'oreille moyenne (adaptateur) : Elle transmet les sons de l'oreille externe vers l'oreille interne ; elle est composée de trois os : le marteau, l'enclume et l'étrier, de la trompe d'Eustache qui a pour rôle de réguler la pression de part et d'autre du tympan, d'une fenêtre ovale qui est une membrane qui tapisse l'entrée de la cochlée qui a pour rôle d'amplifier les ondes sonores et d'une fenêtre ronde qui est également une membrane et qui vibre dans le sens opposé aux vibrations qui entrent dans l'oreille interne ce qui permet un déplacement des fluides dans la cochlée.

- L'oreille interne (transducteur) aussi appelée labyrinthe, est séparée en deux parties : le labyrinthe antérieur qui a pour rôle l'audition et qui comprend la cochlée. Cet organe a une forme d'escargot et contient un liquide appelé périlymphe. Elle a pour rôle de transformer les ondes sonores en impulsion électrique pour le cerveau et le labyrinthe postérieur qui comprend le vestibule, qui sert à enregistrer les mouvements du corps et à assurer l'équilibre de la personne. Il comprend trois canaux circulaires situés dans des plans différents qui sont tapissés de fibre ciliée et remplis de liquide appelé endolymphe. Ils sont sensibles aux accélérations angulaires et à la rotation de la tête. Le système vestibulaire possède plusieurs rôles importants : il informe sur la position et le déplacement de la tête, il donne le sens de l'équilibre, il contribue à la coordination des mouvements de la tête et des yeux et participe à l'ajustement de la posture du corps.

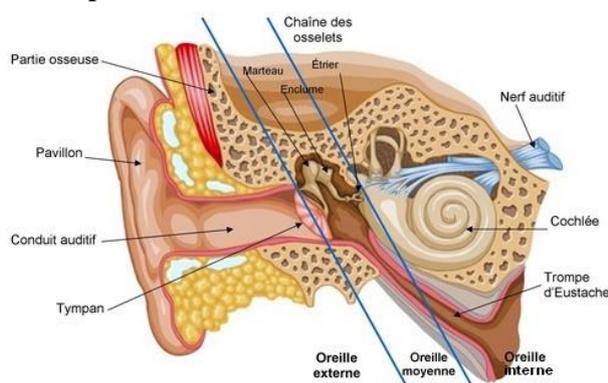


Figure 12 : Schéma de l'anatomie de l'oreille.

2. Conséquences d'une perturbation de la fonction vestibulaire sur l'oculomotricité

2.1 Conséquences d'une perte vestibulaire bilatérale sur l'oculomotricité et la posture

2.1.1 Introduction

Pour mettre en évidence les possibles interactions entre les afférences vestibulaires et l'oculomotricité dans le contrôle de la posture, nous nous sommes penchés sur une étude réalisée par Zoï Kapoula, Chrystal Gaertner, Qing Yang, Pierre Denise, Michel Toupet qui se nomme : Vergence and Standing Balance in Subjects with Idiopathic Bilateral Loss of Vestibular Function¹³. Cette étude s'est donc intéressée aux sujets ayant une perte vestibulaire bilatérale idiopathique et comparativement à un groupe témoin et a étudié leur oculomotricité et plus particulièrement leurs vergences.

Les questions posées dans la présente étude étaient de savoir si chez les patients présentant une perte vestibulaire bilatérale idiopathique la proximité avait un effet stabilisateur induit par la convergence, et si les mouvements de vergence active pouvaient être utiles pour le contrôle postural.

2.1.2 Matériel

Pour cette étude 11 sujets de 26 à 77 ans ont été recrutés. Ils présentaient tous une perte bilatérale idiopathique de la fonction vestibulaire. Mais aucun ne présentait de perte d'audition ou de symptôme neurologique associé. Ils avaient tous subi leur perte vestibulaire au moins 5 ans avant l'étude et aucun ne présentait d'oscillopsie persistante.

Les tests pour valider l'inclusion des patients et mesurer leur perte idiopathique de leur fonction vestibulaire étaient : une vidéo-nystagmographie réalisée pour les oreilles droite et gauche, la fonction des canaux a également été évaluée en mesurant le réflexe vestibulo-oculaire au cours d'un essai de rotation à basse fréquence (0,05 Hz, pendant 20 s), le test d'impulsion de tête a été effectué avec un système de caméra vidéo sensible pour chacun des canaux, la fonction vaccinale a été testée avec des potentiels vestibulaires myogéniques évoqués (VEMP). Seuls les patients sans réponse significative aux tests caloriques, sans réponse au test rotatoire et sans réponse VEMP ont été inclus dans cette étude.

Le groupe témoin était composé de 16 patients âgés de 22 à 59 ans. Aucun d'entre eux ne présentait de troubles visuels, neurologiques ou psychiatriques et aucun ne prenait de médicaments.

L'étude des mouvements oculaires a été réalisée sur 8 patients et comparée à 15 sujets témoins. L'étude posturo-graphique a été réalisée sur l'ensemble du groupe de patients et l'ensemble du groupe témoin.

2.1.3 Méthode

L'étude des mouvements oculaire a été réalisée à l'aide d'une table horizontale sur laquelle se situaient des LED circulaires de longueur d'onde 636 nm et d'intensité lumineuse 60 mcd. Les LED étaient placées respectivement à 20, 40 et 100 cm du sujet. La fixation de ces trois LED nécessitait respectivement un angle de vergence de 17,1degrés, 8,6degrés et 3,4degrés. Le test a été effectué dans une pièce sombre.

Le test oculaire commençait par la fixation de la LED à 40 cm. La LED restait allumée de 1,5 à 2 secondes. Par la suite ils ont demandé au sujet de fixer le plus rapidement et précisément possible la cible à 20 cm ce qui entraînait un mouvement de convergence, 500 ms ont séparé chaque essai ; cette période a permis aux sujets de cligner des yeux. La durée moyenne d'un essai était de 4 secondes. Les sujets ont réalisé un bloc de 20 essais (10 de divergence de 40cm à 100 cm et 10 de convergence de 40 cm à 20 cm). Les mouvements des yeux ont été enregistrés

avec un appareil d'oculographie. (Figure 13) Pour les adultes témoins, 5% des essais et pour les patients 15% des essais ont dû être rejetés.

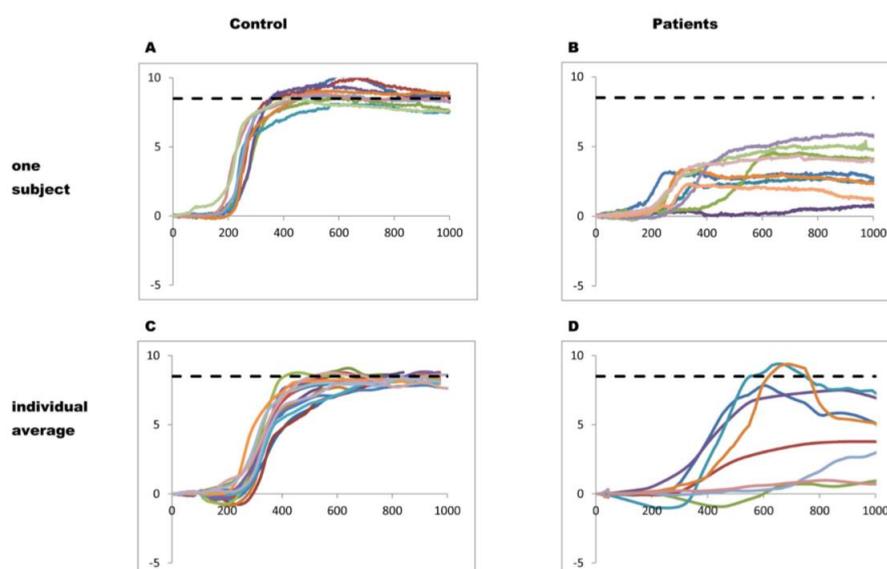


Figure 13 : Amplitude de convergence d'un sujet sain (A) et d'un patient (B) et de convergence pour tous les témoins (C) et tous les patients étudiés (D). La ligne horizontale indique la convergence requise par la cible.

Pour réaliser les mesures évaluant la posture, les sujets devaient se tenir debout, pieds nus, les pieds placés côte à côte formant un angle de 30 degrés et les talons séparés de 4 cm. Ils fixaient une cible LED placée sur une table horizontale à hauteur des yeux dans une pièce éclairée.

On leur a demandé de rester dans une position debout, les bras tendus, les dents non serrées et la respiration normale et de fixer une cible. 4 situations de 1 minute chacune ont été testées : la fixation d'une LED à 40 cm nécessitant une convergence soutenue de 9 degrés ; la fixation d'une LED à 150 cm nécessitant une convergence réduite 2,3 degrés cette situation a été répétée avec les yeux fermés, la quatrième situation comprenait deux LED l'une à 20 cm et l'autre à 100 cm qui s'allumaient l'une après l'autre pendant 1 seconde ce qui entraînait des mouvements de convergence puis de divergence.

Pour mesurer les paramètres liés à la posture, un capteur fixe a été placé sur le corps des sujets (accéléromètre). Les paramètres analysés étaient : la surface normalisée d'oscillation du centre de pression (en mm²/s), la valeur moyenne quadratique de la surface du balancement latéral (Root-Mean-Square RMS de M/L en mm), la valeur moyenne quadratique du balancement antéro-postérieur (RMS de A/P en mm), la valeur moyenne quadratique (RMS) de la vitesse M/L (en mm/s), la valeur moyenne quadratique (RMS) de la vitesse de déplacement A/P ainsi que la fréquence moyenne du réseau (Hz).

Les trois premières mesures décrivaient la stabilité tandis que les trois dernières concernaient principalement l'énergie utilisée pour stabiliser le corps. Ils ont évalué le Quotient de Romberg (QR) comme étant le rapport des valeurs dans les conditions où les yeux ouverts se fixent à 150 cm par rapport aux yeux fermés ; le QR a été estimé pour chacun des paramètres énumérés ci-dessus.

2.1.4 Résultats

Au niveau des résultats oculomoteurs (figure 14) ils ont relevé que tous les patients avaient des troubles de la convergence. La convergence était hypométrique, lente et moins lisse chez les patients. La majorité des patients présentait également des trajectoires de convergence très perturbées.

Ils ont noté un gain significativement plus faible pour la convergence chez les patients que chez les témoins mais aucune différence de groupe pour la divergence. La vitesse moyenne de convergence est significativement plus faible chez les patients que chez les témoins mais il n'y a pas de différence sur la vitesse moyenne de divergence entre les deux groupes.

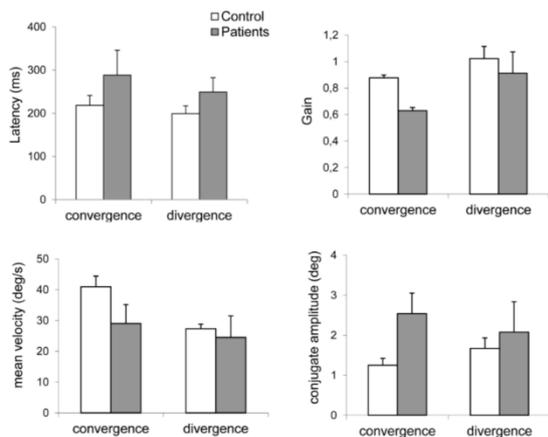


Figure 14 : Valeurs moyennes pour différents paramètres de convergence et de divergence chez les témoins et les patients.

Au niveau des résultats posturaux (figure 15) : ils ont obtenu un Quotient de Romberg (QR) pour chaque paramètre pour le patient et les groupes témoins. Le Quotient de Romberg des patients était plus élevé pour le RMS de la vitesse M/L, pour le RMS de la vitesse A/P, pour le RMS du A/P. Pour la surface normalisée, la différence était encore plus grande.

Les valeurs élevées du quotient de Romberg pour les patients, en particulier pour le paramètre de surface, même si elles ne sont pas statistiquement différentes de celles des témoins, indiquent une dépendance visuelle accrue due à la perte de la fonction vestibulaire. Par rapport aux témoins, les résultats montrent une plus grande instabilité chez les patients en terme de surface et de RMS de M/L, quel que soit l'état de vergence (loin, près, vergence active). Ils ont noté un effet de la profondeur et de l'angle de vergence correspondant : de la même manière que les témoins, les patients ont montré une meilleure stabilité posturale tout en se fixant de près.

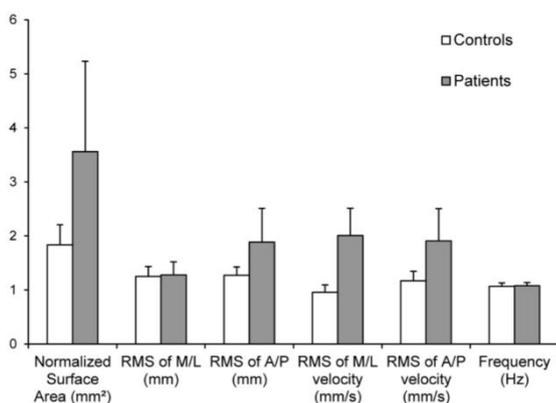


Figure 15 : Le quotient moyen de Romberg, c'est-à-dire le rapport entre la valeur posturale des yeux fermés et celle des yeux ouverts pour chacun des paramètres posturaux indiqués sur l'axe X.

2.1.5 Conclusion

Pour conclure nous pouvons dire que cette étude montre des anomalies spécifiques de convergence chez des patients présentant une perte vestibulaire bilatérale idiopathique. Elle montre également que la stabilité posturale est en général moins bonne chez ces patients. Cependant quand leurs yeux convergent vers une fixation soutenue ou qu'ils font des mouvements oculaires de convergence-divergence active, leurs performances posturales sont meilleures.

2.2 Conséquences oculomotrices d'une perte vestibulaire unilatérale aigüe évaluées par bilan orthoptique

2.2.1 Introduction

La précédente étude nous a permis de mettre en avant qu'une perte idiopathique bilatérale de la fonction vestibulaire impacte l'oculomotricité. L'étude sur laquelle nous allons nous pencher à présent, s'est intéressée à l'impact d'une perte vestibulaire unilatérale aigüe. La présente étude a été réalisée par Marion Montava, Laurine Mata et Vincent Guiliano, et effectuée sur des sujets ayant une perte vestibulaire unilatérale aigüe par désafférotation chirurgicale (exérèse de schwannome vestibulaire, neurotomie vestibulaire ou labyrinthectomie chirurgicale pour Maladie de Ménière)

2.2.2 Matériel et méthode

Cette étude s'est déroulée sur 28 sujets (15 hommes et 13 femmes) ayant de 27 à 78 ans. Un bilan orthoptique et un bilan ORL ont été réalisés la veille de leur exérèse, 7 jours après et 2 mois après. Chaque patient a démarré une rééducation vestibulaire le lendemain de son intervention. Le bilan orthoptique qui a été effectué comprenait un interrogatoire qui a servi à mieux cerner le patient : ses gênes et ses antécédents, une mesure de l'acuité visuelle à 5m et à 33cm, une étude des reflets cornéens (hirshberg) pour mettre en évidence la possible présence d'un strabisme, un cover test unilatéral pour tester la présence d'un strabisme et alterné pour mettre en évidence une hétérophorie, une étude des versions, une étude du nystagmus (étude l'amplitude, de l'orientation et de la morphologie), une étude au verre de Maddox, l'étude des mouvements de poursuite et de saccade avec le NSUCO, la mesure du PPC et des amplitudes de fusions.

2.2.3 Résultats

Ils ont retrouvé une fixation soutenue pour tous les patients la veille de leur opération ; celle-ci s'est dégradée un jour après pour 7,5 patients et s'est de nouveau améliorée deux mois plus tard sauf pour un patient.

Les mouvements conjugués étaient altérés avec des mouvements de la tête incontrôlable et un test de NSUCO faible que ce soit au niveau des poursuites ou des saccades. Ces résultats sont restés stables à J1 puis se sont améliorés à M2 (plus que 1 patient présentait des mouvements de la tête). Au niveau de la précision des saccades et des poursuites, ils ont noté la même tendance : c'est-à-dire la précision était convenable la veille de l'opération, puis très perturbée à J1 et enfin revenait moyenne à M2. Cependant ils ont également noté que les mouvements de poursuite étaient plus impactés que ceux de saccade. Le lien anatomique entre le système des poursuites et le système vestibulaire explique cela.

Au niveau du nystagmus, ils ont mis en lumière qu'à J7 tous les sujets présentaient un nystagmus spontané. Cependant à M2 pour la majorité des patients, le nystagmus bien que n'ayant pas disparu, est devenu latent (apparaît à l'occlusion).

Concernant le reflexe vestibulo-oculaire (RVO) la veille de l'opération, 64% des sujets avaient un RVO normal (mouvement des yeux en sens inverse proportionnel au mouvement de la tête) et 46% avaient un RVO perturbé. A J7 le pourcentage de patients avec un RVO perturbé était de 44% et à M2 seulement 18% avaient toujours un RVO anormal.

Au niveau des vergences, ils se sont principalement intéressés aux différences entre les deux yeux : la veille de l'opération 31% des patients présentaient une asymétrie de vergence entre l'œil droit et l'œil gauche d'environ 2,72dp. Cette asymétrie était en moyenne de 3,22dp à J7

et était retrouvée sur 35% des sujets et augmentait encore à M2 pour atteindre 3,75dp sur 41% des patients.

V. Afférence visuelle

1. Anatomie du système visuel

Nous pouvons dire que l'œil est divisé en deux parties :

-La rétine qui a un rôle de récepteur en captant les informations de l'environnement. Elle est elle-même séparée en deux : la rétine centrale qui a pour rôle de regarder, d'identifier et qui est située au niveau de la macula et la rétine périphérique qui a pour rôle d'alerter, de localiser.

-Les muscles extra-oculaires qui forment un système afférent grâce la proprioception musculaire et efférent grâce aux différents reflexes visuels qui permettent de stabiliser le regard. Il en existe 6 qui permettent les mouvements oculaires.

Lors du contrôle de la posture, les yeux assurent à la fois : un rôle de récepteurs car ils captent les informations de l'environnement. Ils réceptionnent 70% des informations sensorielles. Ils possèdent également un rôle effecteur car ils permettent grâce à l'action des muscles extra-oculaires une stabilisation du regard et un meilleur maintien de la posture et de l'équilibre.

2. Effet d'un strabisme sur la posture

2.1 Généralités

Le strabisme correspond à une déviation patente des axes visuels soit en dedans (convergent) soit en dehors (divergent). Il peut être constant ou intermittent, acquis ou congénital. La prévalence du strabisme est comprise entre 0,99 et 2,6%.

2.2 Strabisme et posture

2.2.1 Introduction

Dans un premier temps pour mettre en évidence les effets de la présence d'un strabisme sur le bon maintien de la posture Cynthia Lions, Emmanuel Bui-Quoc et Maria Pia Bucci ont étudié comparativement à un groupe de 10 enfants non strabiques les données posturologiques de 10 enfants strabiques d'environ 8 ans. Cette étude ce nomme : Postural control in strabismic children versus non strabismic age-matched children¹⁴.

2.2.2 Matériel et méthode

Tous les enfants du groupe témoin et du groupe strabique présentaient une acuité visuelle maximale (20/20 ème). Dans le groupe strabique ils ont sélectionné 4 enfants avec un strabisme divergent intermittent mais présentant une vision binoculaire normale (testée au TNO), les 6 autres enfants ne présentaient pas de vision binoculaire, 1 avait un strabisme divergent intermittent, 1 présentait un strabisme convergent accommodatif et les 3 derniers présentaient un strabisme convergent congénital.

Ils ont évalué les données posturologiques (surface, longueur et vitesse d'excursion du centre de pression) lors de deux taches visuelles (fixation et saccade) les deux yeux ouverts. Pour recueillir les différentes données, ils ont placé les enfants sur une plateforme de stabilométrie face à un écran sur lequel apparaissaient les cibles de fixations.

2.2.3 Résultats

Au niveau des résultats (Figure 17) ils ont montré dans un premier temps que tous les paramètres posturaux étaient moins performants chez les enfants strabiques en comparaison aux enfants non strabiques, Ils ont également montré que les données posturologique étaient meilleures durant la tâche de saccade par rapport à la tâche de fixation. Pour expliquer ce phénomène ils ont soumis l'hypothèse que lors de la réalisation d'une tâche visuelle plus complexe comme les saccades, l'attention ne serait plus portée sur le contrôle postural mais sur celle-ci. Ainsi l'attention portée sur le contrôle postural deviendrait plus automatique et s'améliorerait.

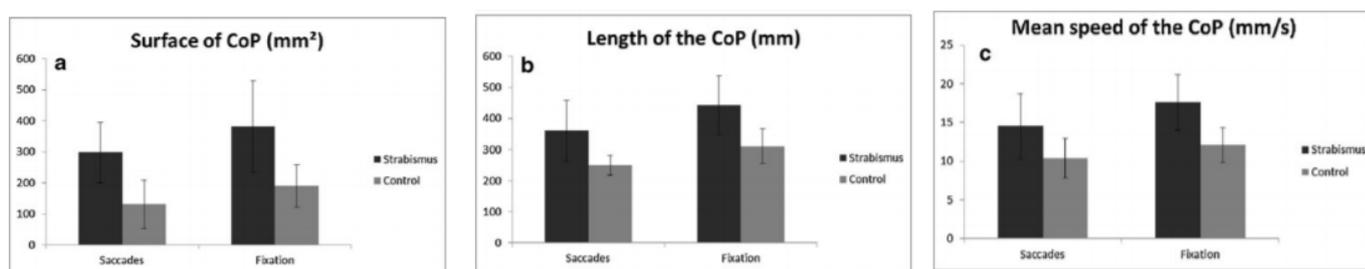


Figure 17 : Moyenne de la surface (a), de la longueur (b) et de la vitesse (c) d'excursion du CdP chez les enfants témoins et strabiques, lors des saccades et de la fixation.

2.3 Relation entre une opération du strabisme et la posture

2.3.1 Première étude

2.3.1.1 Introduction

Pour montrer les effets posturaux d'une chirurgie du strabisme plusieurs études ont été réalisées : dans un premier temps nous allons nous pencher sur celle réalisée par : Cynthia Lions, Lucile Colleville, Emmanuel Bui-Quoc, Maria Pia Bucci, qui se nomme : Importance of visual inputs quality for postural stability in strabismic children¹⁵.

Lors de cette étude les principaux buts des chercheurs étaient de déterminer les relations entre la vision et la posture chez les personnes souffrant de trouble de la vision binoculaire comme le strabisme, mais aussi d'évaluer si une meilleure réception des afférences visuelles dues à une chirurgie du strabisme pouvait améliorer la stabilité posturale.

2.3.1.2 Matériel (Annexe 4)

L'étude a été réalisée sur 23 enfants strabiques de 4,4 à 14,8 ans. Elle s'est déroulée à l'hôpital Robert Debré à Paris.

Un examen orthoptique a été pratiqué chez tous les enfants : La mesure de leur acuité visuelle a été réalisée de loin en monoculaire avec une échelle de Monnoyer, la mesure de leur angle de déviation a été réalisée avec une barre de prisme de près et de loin et leur vision stéréoscopique a été testée avec un TNO. Tous les sujets avaient un strabisme constant ou intermittent, divergent ou convergent. Ils ont regroupé leurs résultats dans le tableau en annexe 5.

2.3.1.3 Méthode

L'examen postural a eu lieu dans une pièce sombre : les sujets étaient placés sur une plateforme de force, les bras le long du corps, les deux pieds formant un angle de 30° et les talons séparés de 4cm. Ils devaient fixer le nez rouge d'un clown situé à 200cm d'eux.

La posture a été étudiée à l'aide de trois enregistrements successifs réalisés lors de quatre conditions visuelles différentes choisies au hasard : les deux yeux ouverts (EO), les deux yeux fermés (EC), avec l'œil strabique ouvert (SE), et avec l'œil non strabique ouvert (NSE).

Les paramètres posturaux qui ont été étudiés sont : la surface, la longueur et la vitesse moyenne d'excursion des centres de pression. L'influence des apports visuels sur le maintien de la

posture a été mesuré par le quotient de Romberg : ce quotient correspond au rapport des surfaces les yeux ouvert et fermé.

Une analyse des paramètres posturaux a été réalisée pour chaque condition étudiée et une analyse de la variance a également été réalisée afin de comparer les différents groupes de sujets atteints de strabisme convergent ou divergent possédant une vision binoculaire ou non.

2.3.1.4 Résultats

L'analyse des résultats a montré au niveau de la surface moyenne, de la longueur moyenne et de la vitesse moyenne du centre de pression que la vision avait un effet significatif ; ainsi ils ont fait ressortir :

- la surface du centre de pression était significativement supérieure lorsque le sujet avait les yeux fermés et lorsqu'il fixait en monoculaire avec l'œil strabique (Figure 16).
- la longueur moyenne du centre de pression était significativement plus petite les deux yeux fermés et lors de la fixation monoculaire avec l'œil strabique (Figure 17).
- la vitesse moyenne était significativement plus élevée avec les yeux fermés et en fixation monoculaire avec l'œil strabique (Figure 18).

Par ailleurs, aucune différence significative entre les enfants ayant un strabisme convergent ou divergent, possédant une vision binoculaire ou non n'a été notée.

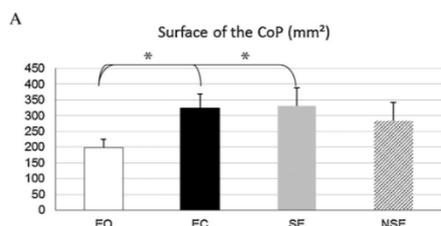


Figure 16 : Analyse de la surface d'excursion du centre de pression en mm².

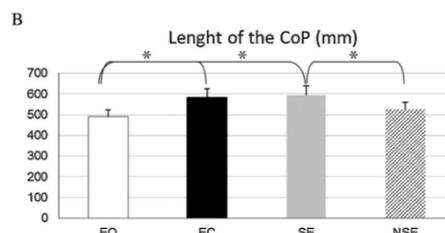


Figure 17 : Analyse de la longueur d'excursion du centre de pression en mm.

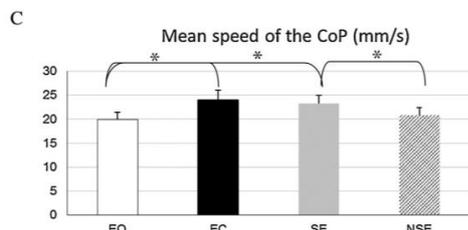


Figure 18 : Analyse de la vitesse d'excursion du centre de pression en mm/s.

Une analyse du quotient de Romberg a également été réalisée pour la surface du centre de pression : le quotient de Romberg était significativement plus élevé avec les deux yeux ouverts ou avec l'œil non strabique ouvert (Figure 19). Il était aussi plus élevé chez les enfants présentant une vision binoculaire que chez ceux sans (Figure 20).

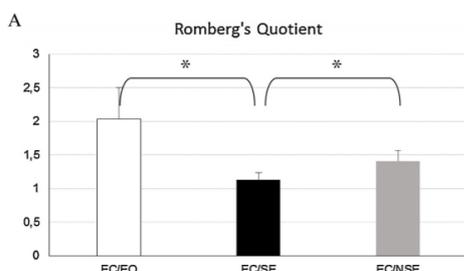


Figure 19 : Analyse du quotient de Romberg

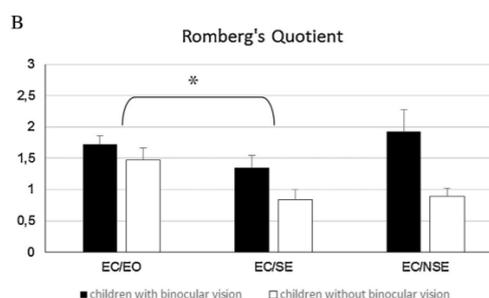


Figure 20 : Différences entre le quotient de Romberg chez les sujets présentant une vision binoculaire ou non

Entre 5 et 9 mois après opération 12 sujets ont de nouveau subi un bilan : l'angle du strabisme a diminué pour 10 d'entre eux, 1 n'a pas eu de changement, 1 a eu une amélioration de ses signes fonctionnels mais pas de son angle et 3 ont eu une amélioration de leur vision binoculaire : la figure 21 montre la mesure de l'angle de leur strabisme avant et après opération.

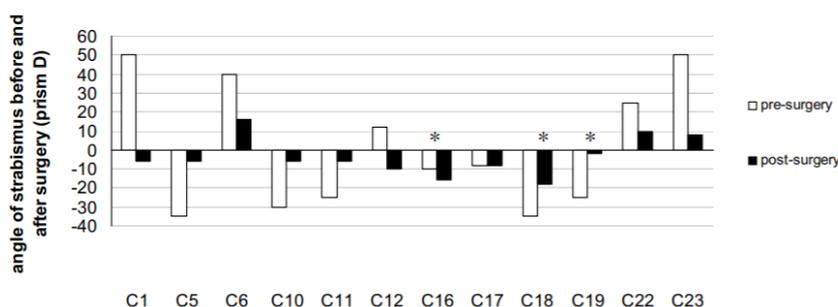


Figure 21 : Angle du strabisme avant et après opération

Rappelons que pour tous les enfants les paramètres de surface, de longueur et de vitesse moyenne du centre de pression les résultats étaient diminués lorsque les deux yeux étaient fermés ou que l'œil strabique fixait en monoculaire. L'analyse des paramètres posturaux montre, après chirurgie une nette amélioration des paramètres mesurés dans les conditions yeux fermés et œil déficient fixant. Ces résultats mettent donc en avant l'aspect bénéfique d'une chirurgie du strabisme sur la posture (figure 22).

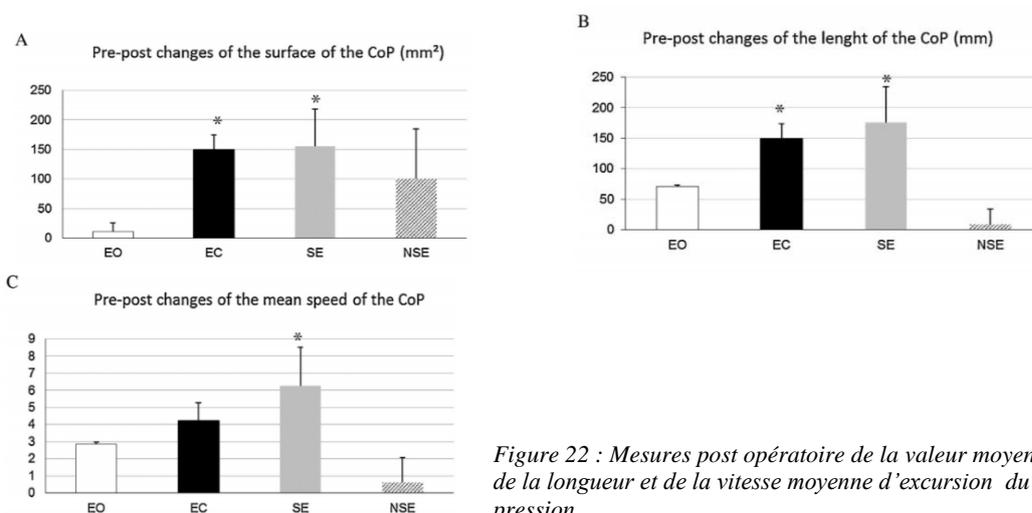


Figure 22 : Mesures post opératoire de la valeur moyenne de la surface, de la longueur et de la vitesse moyenne d'excursion du centre de pression.

Dans cette étude ils ont mis en lumière que l'enfant quel que soit son type de strabisme et sa possible vision binoculaire est plus stable lorsqu'il peut utiliser les informations visuelles. La différenciation au niveau de l'analyse posturale lorsque l'enfant fixe en monoculaire avec son œil strabique ou non a permis de mettre en évidence de façon significative que les informations visuelles provenant de l'œil strabique sont insuffisantes pour permettre une bonne stabilité. Par ailleurs ils n'ont pas obtenu de réelle différence en fonction de l'orientation du strabisme : convergent ou divergent. Ils ont justifié cela par la possibilité que le phénomène de neutralisation qui est différent selon l'orientation du strabisme ne serait pas directement mis en jeu dans le contrôle de la posture.

2.3.2 Deuxième étude

2.3.2.1 Introduction

Une autre étude a été réalisée pour permettre d'analyser la posture des enfants strabiques avant et après une chirurgie. Cette étude a été réalisée par : Agathe Legrand, Emmanuel Bui Quoc, Sylvette Wiener Vacher, Jérôme Ribot, Nicolas Lebas, Chantal Milleret, Maria Pia Bucci¹⁶. Le but de cette étude était de démontrer une possible amélioration de la posture après traitement du strabisme par chirurgie. Les mesures ont été réalisées à 2 semaines et 2 mois post opératoire.

2.3.2.2 Matériel (Annexe 5)

9 enfants de 4 à 8 ans ont participé à leur étude. L'évaluation vestibulaire a été réalisée à l'aide de deux tests : le test de Romberg qui consistait à demander à l'enfant de se tenir droit debout avec les bras le long du corps les yeux ouverts puis fermés durant 20s d'abord sur un sol dur puis sur un tapis de mousse. Ils ont également testé le réflexe vestibulo-oculaire en demandant aux enfants de fixer une cible tout en leur bougeant la tête. Tous les enfants retenus pour cette étude avaient un test de Romberg et un réflexe vestibulo-oculaire normaux et aucun d'entre eux n'avait de vision binoculaire.

2.3.2.3 Méthode

Une plateforme de force a été utilisée pour mesurer la surface des excursions du centre de pression en mm² et la variance de la vitesse du centre de pression en mm/s. L'énergie dépensée a également été mesurée(en pourcentage) grâce à la mesure de la fréquence totale des oscillations du corps. Le spectre de fréquence a alors été divisé en trois bandes de fréquence : basse fréquence, 0-0,5 Hz ; moyenne fréquence, 0,50-2 Hz ; haute fréquence, >2 Hz. Ils sont partis de l'hypothèse que les basses fréquences sont responsables de la régulation visuo-vestibulaire et que les hautes fréquences sont responsables de la régulation de l'équilibre.

Les stimuli visuels ont été présentés sur un écran à 80cm de l'enfant. Un nuage de points apparaissait aléatoirement sur l'écran noir. Deux conditions visuelles ont été testées : les yeux ouverts et les yeux fermés.

2.3.2.4 Résultats

Les mesures réalisées à 2 semaines environ de l'opération ont montré une diminution de l'angle du strabisme chez tous les sujets, et chez 3 d'entre eux une amélioration de la vision stéréoscopique. A 2 mois un quatrième enfant a également retrouvé une vision stéréoscopique

En ce qui concerne l'analyse de la variance de la surface de l'excursion du centre de pression, ils ont obtenu dans tous les cas une augmentation de celle-ci 2 semaines après l'opération puis une diminution après 2 mois. Ils ont également noté un effet significatif de la vision sur cette donnée : en effet la surface augmente en condition yeux fermés (figure 25). Pour la variance de la vitesse des centres de pression les résultats ont montré la même tendance à être plus mauvais juste après l'opération puis à nettement s'améliorer 2mois après celle-ci. La condition yeux ouverts était également meilleure ce qui montre l'apport primordiale de la vision (figure 26).

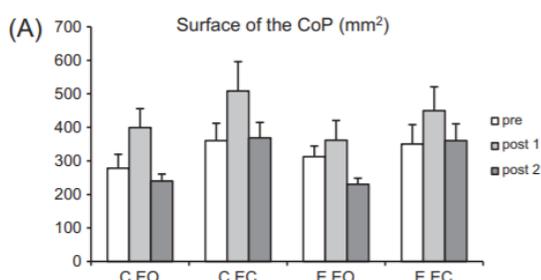


Figure 25 : Variation de l'excursion du centre de pression en mm² dans la condition yeux ouverts (EO) et yeux fermés (EC) avant, à 2 semaines et à 2 mois de l'opération.

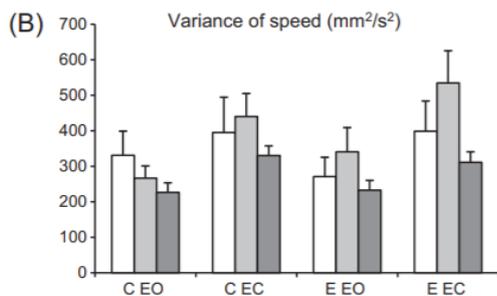


Figure 26 : Variation de la vitesse du centre de pression en mm/s dans la condition yeux ouverts (EO) et yeux fermés (EC) avant, à 2 semaines et à 2 mois de l'opération.

Au niveau de l'analyse des fréquences (figure 27) : Ils ont noté qu'à basse fréquence les oscillations du corps dans le sens antéro-postérieur étaient plus importantes que les oscillations du corps dans la direction médio-latérale. Par ailleurs ils ont également relevé que dans la condition yeux ouverts, la fréquence d'oscillations était plus élevée que dans la condition yeux fermés. Cependant ils n'ont pas noté d'effets de la chirurgie sur ces données. Pour la bande de moyenne fréquence, les oscillations dans la direction medio-latérale étaient plus importantes que celles dans le sens antéro-postérieur. De plus la puissance de la fréquence de balancement était significativement plus faible dans la condition yeux ouverts que dans la condition yeux fermés. Mais comme pour les basses fréquences, la chirurgie ne semblait pas impacter leurs résultats. Pour finir au niveau de la bande de haute fréquence, ils ont noté que les oscillations dans le sens médio-latéral étaient supérieures à celles dans le sens antéro-postérieur. Les résultats montrent également un impact de la chirurgie mais seulement dans l'axe medio-latéral : les oscillations enregistrées deux mois après l'opération semblaient nettement plus importantes.

Pour conclure nous pouvons dire que cette étude a mis en lumière un apport important de la chirurgie du strabisme sur la stabilité posturale : en effet les résultats suggèrent que la stabilité de l'enfant est plus importante dans la condition yeux ouverts et que dans cette condition elle est meilleure deux mois après l'opération qu'avant celle-ci. On note tout de même une baisse de cette qualité juste après l'opération ce qui peut être dû au temps nécessaire au corps pour s'adapter aux modifications de son entrée visuelle.

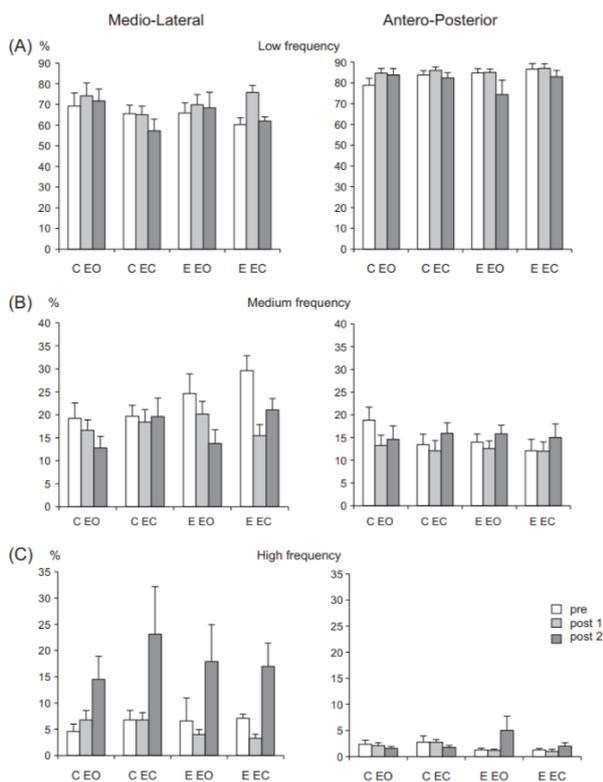


Figure 27 : Analyse des oscillations du corps dans deux axes différents à différentes fréquences avant, à 2 semaines et à 2 mois de la chirurgie dans la condition yeux ouverts et yeux fermés.

2.4 Conclusion

Les deux études mises en relation nous prouvent bien que chez l'enfant possédant un strabisme, l'entrée visuelle est altérée principalement à cause de l'absence de vision binoculaire. Chez ces enfants le maintien d'une posture stable ne peut donc pas être parfait ; ceci est mis en évidence par le fait que si l'enfant fixe avec son œil strabique, ses qualités posturales diminuent. Cependant on peut voir qu'une chirurgie de strabisme pourrait améliorer ce contrôle après réadaptation du système postural et ainsi permettre une meilleure stabilité aux enfants après l'opération. Nous pouvons donc nous demander si les critères posturaux pourraient devenir une indication chirurgicale plus importante dans l'avenir.

3. Effet d'une phorie sur la posture

3.1 Généralités

Rappelons qu'une phorie se définit comme une déviation des axes visuels maintenue latente. Il en existe différents types : Les phories horizontales : l'ésophorie qui correspond à une déviation des axes visuels en dedans, l'exophorie qui est une déviation vers l'extérieur ; les phories verticales qui correspondent à une tendance des yeux à diverger dans le sens vertical et enfin la cyclophorie qui correspond à une déviation rotatoire des yeux autour de l'axe sagittal.

3.2 Impact des phories verticales sur le contrôle postural

3.2.1 Introduction

L'impact des phories verticales sur la posture a été étudié par Eric Mathéron et Zoï Kapoula¹⁷. Ils ont étudié les phories verticales et le contrôle postural en position debout chez des jeunes sujets en bonne santé. Cette étude se nomme : Vertical phoria and postural control in upright stance in healthy young subjects

3.2.2 Matériel et méthode

Pour leurs recherches ils ont sélectionné 26 sujets de 22 à 34 ans. Aucun ne souffrait de troubles neurologiques, ophtalmologiques ou musculaires, et aucun d'eux ne prenait de traitement. Aucun ne souffrait de trouble visuel de type strabisme, vision double ou port de lunettes. Pour mesurer la déviation phorique verticale, ils se sont servis du test de Maddox en vision de loin (5m). 12 des sujets recrutés (VO) ne présentaient pas de déviation verticale et 14 d'entre eux (VH) présentaient une légère déviation verticale de 1 dioptrie. Les performances posturales ont été mesurées à l'aide d'une plateforme de stabilométrie. Ils ont étudié le balancement du corps grâce à la mesure de la surface l'excursion du centre de pression, la déviation standard dans l'axe latéral (SDx) et antéro-postérieur (SDy) et la variance de la vitesse de cette excursion. Pour cette étude le patient était placé sur une plateforme devant un écran vertical affichant une lettre (X). Les paramètres ont été testés à 40cm et à 2m.

3.2.3 Résultats

Ils ont noté un effet de la distance de présentation des tests sur les paramètres posturaux (figure 28). En effet l'ensemble des paramètres testés étaient significativement meilleurs en vision de près à 40 cm. Par ailleurs les sujets sans phories verticales (VO) présentaient également des paramètres posturaux meilleurs que ceux ayant une déviation verticale (VH) sauf sur la variance de la vitesse ou les résultats n'étaient pas significativement différents.

| Parameters | Distance | |
|---|----------------|----------------|
| | 40 cm | 200 cm |
| <i>Surface of CoP (mm²)</i> | | |
| VO | 59.5 ± 31.04 | 62.55 ± 31.14 |
| VH | 106.64 ± 49.58 | 165.09 ± 70.79 |
| <i>SDy (mm)</i> | | |
| VO | 3.06 ± 1.02 | 3.11 ± 0.98 |
| VH | 3.80 ± 1.40 | 4.89 ± 1.43 |
| <i>SDx (mm)</i> | | |
| VO | 2.03 ± 0.74 | 2.00 ± 0.92 |
| VH | 2.55 ± 0.87 | 3.30 ± 1.07 |
| <i>Variance of speed (mm²/s²)</i> | | |
| VO | 21.37 ± 14.67 | 26.65 ± 16.60 |
| VH | 33.53 ± 5.16 | 38.97 ± 6.36 |

Means and standard deviations of surface of CoP, standard deviations of antero-posterior (SDy) and of lateral body sway (SDx) and variance of speed for each distance (40 cm and 200 cm).

Figure 28 : Paramètres posturaux mesurés pour les 12 sujets du groupe VO et pour les 14 du groupe VH

En parallèle de cette étude ils ont réalisé une étude additionnelle ayant pour but de voir si une prismation de la verticalité améliorerait les capacités posturales chez les sujets présentant une phorie verticale. Pour cette étude ils ont mesuré les capacités posturales sur 12 sujets de 17 à 32 ans qui ne présentaient aucun trouble ophtalmologique, neurologique, et ne portant pas de lunettes. Ils présentaient tous une phorie verticale légère mesurée au Maddox. Les mesures de la posture ont été effectuées de la même manière que sur leur étude principale. Cependant ils ont réalisé les mesures seulement en vision de loin en testant la condition de vision normale et la condition de vision avec prisme compensant leurs phories verticales.

Ils ont obtenu les résultats présentés dans la figure 29 : ils ont relevé de meilleurs résultats chez les sujets prismés pour la mesure de l'excursion de la surface du centre de pression et pour la déviation standard dans l'axe antéro-postérieur. Cependant les résultats n'étaient pas significatifs pour la mesure de la déviation standard dans l'axe latéral et pour la variance de la vitesse.

| Parameters | 200 cm |
|---|----------------|
| <i>Surface of CoP (mm²)</i> | |
| NV | 136.79 ± 69.96 |
| PC | 89.86 ± 35.40 |
| <i>SDy (mm)</i> | |
| NV | 4.10 ± 1.41 |
| PC | 3.18 ± 0.81 |
| <i>SDx (mm)</i> | |
| NV | 2.76 ± 1.03 |
| PC | 2.33 ± 0.74 |
| <i>Variance of speed (mm²/s²)</i> | |
| NV | 53.12 ± 29.71 |
| PC | 43.56 ± 23.09 |

Means and standard deviations of surface of CoP, standard deviations of antero-posterior (SDy) and of lateral body sway (SDx) and variance of speed for each distance in normal vision (NV) and in prism correction (PC) of VH conditions at 200 cm.

Figure 29 : Valeurs posturologiques mesurées en position debout en condition de vision normale (NV) et de Vision avec une correction prismatique (PC).

Pour conclure nous pouvons dire que grâce à cette étude ils ont montré qu'une phorie verticale même légère influence la posture. En effet, ils ont globalement retrouvé une moins bonne stabilité chez ces sujets. Cependant ils ont également noté un effet de la distance de présentation des tests avec une meilleure stabilité en vision de près. Ils ont aussi montré qu'une prismation des petites déviations verticales peut améliorer le contrôle posturologique. Ils ont expliqué ces phénomènes par le fait qu'une meilleure proprioception oculomotrice augmente le contrôle

postural, et de ce fait qu'une phorie verticale diminue cette proprioception et ainsi diminue ce contrôle.

4. Déficience visuelle et posture

4.1 Introduction

A l'heure actuelle les deux premières causes de cécité dans le monde sont la dégénérescence maculaire liée à l'âge et le glaucome. Ces deux pathologies provoquent des atteintes opposées. En effet la DMLA provoque une atteinte de la vision centrale et le glaucome provoque au début une atteinte de la vision périphérique. L'étude sur laquelle nous allons nous pencher s'est intéressée aux atteintes posturales provoquées par ces deux pathologies. Elle a été réalisée par : V. Serin-Brackmana , J. Pezet Poux , J.-C. Quintyn¹⁸.

4.2 Matériel et méthode

Pour cette étude trois groupes ont été créés : un premier composé de 16 personnes atteintes de DMLA, un deuxième composé de 17 patients présentant un glaucome et un groupe de 18 sujets témoins. Leurs valeurs posturologiques ont été mesurées à l'aide d'une plateforme de stabilométrie. Lors de l'examen les sujets étaient placés sur la plateforme en position debout les bras le long du corps et les yeux fixant une cible droit devant. Plusieurs épreuves ont été testées : en premier une épreuve statique : les sujets devaient maintenir leur équilibre en position statique durant 51,2s. Puis une épreuve dynamique antéro-postérieure : un plateau d'équilibration a été placé dans l'axe antéro-postérieur ; le sujet devait essayer de se maintenir en équilibre durant 25,6s. Enfin une épreuve dynamique latérale : un plateau d'équilibration a été placé dans l'axe latéral. Le sujet devait essayer de garder son équilibre durant 25,6s. Ces trois épreuves ont été réalisées les yeux ouverts et les yeux fermés.

4.3 Résultats

Dans un premier temps ils ont analysé des paramètres de longueur, qui correspondaient à l'étude des déplacements des sujets dans l'axe latéral et antéro-postérieur. Ils ont obtenu une différence significative des résultats entre les conditions yeux ouverts et yeux fermés. En effet cette longueur augmentait les yeux fermés et d'autant plus chez les témoins qui étaient plus déstabilisés que les autres groupes dans cette condition.

Ils ont également étudié le paramètre LFS, qui correspondait à la longueur des oscillations corporelles en fonction de la surface. Ce paramètre permet d'analyser l'énergie dépensée par une personne pour maintenir sa position stable. Ils ont mis en avant une différence entre la condition yeux ouverts et yeux fermés. Ainsi dans la condition yeux ouverts, le paramètre LFS était meilleur. Par ailleurs le groupe témoin les yeux ouverts présentait également un paramètre LFS meilleur que les deux autres groupes.

Au niveau du paramètre X moyen (excursion dans l'axe latéral du centre de pression) ils ont également retrouvé une variation entre les yeux fermés et les yeux ouverts avec une amélioration lors de la condition yeux ouverts, mais n'ont pas noté de différence significative entre les deux groupes.

Au niveau du paramètre Y moyen (excursion antéro-postérieure du centre de pression), dans la condition yeux ouverts, les sujets ayant un champ visuel perturbé, avaient un paramètre Y moyen mauvais comparativement au groupe témoin. Ce paramètre était également plus perturbé chez les patients ayant une atteinte centrale (DMLA) que chez ceux présentant une atteinte périphérique (glaucome).

Au niveau du paramètre de variance de la vitesse des oscillations du centre de pression, ils ont noté une différence entre la condition yeux ouverts et yeux fermés. Ainsi lors de la condition yeux fermés la vitesse des oscillations a augmenté dans tous les axes. Par ailleurs, ils n'ont pas noté de différence significative entre les groupes. Néanmoins le groupe témoin était plus en difficulté que les autres dans la condition yeux fermés.

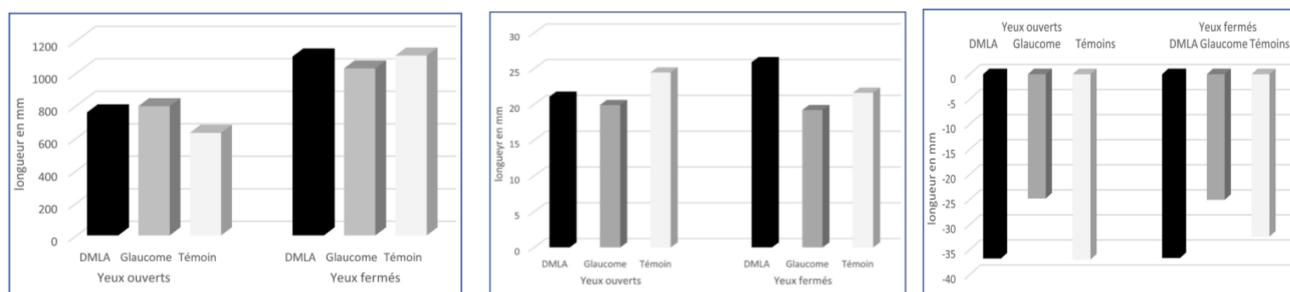


Figure 30 : Moyenne en mm du paramètre Y moyen, du paramètre VFY moyen et du paramètre longueur pour chacun des groupes dans la condition yeux ouverts et yeux fermés.

4.4 Conclusion

Cette étude a mis en avant l'importance de l'entrée visuelle dans le bon maintien de la posture. En effet tous les groupes possédaient un meilleur contrôle postural en condition yeux ouverts. Cependant ils ont également montré que la dépendance visuelle chez les groupes déficients était moins importante. Effectivement l'écart entre les données recueillies les yeux ouverts et les yeux fermés était moins grand que chez le groupe témoin. Ces résultats nous laissent penser que les patients déficients visuels arrivent à palier en partie leur déficit d'entrée visuelle grâce à une amélioration des autres entrées. Par ailleurs ils ont également noté que les patients atteints de DMLA avaient des résultats moins perturbés que ceux glaucomateux. Cela tend à nous prouver que la rétine périphérique possède un rôle plus important dans la stabilité posturale que la rétine centrale.

VI. Discussion

Nous pouvons dire que le contrôle de la posture est issu du traitement de la convergence des informations sensorielles. Ces informations sont réceptionnées par trois principaux systèmes que sont le système vestibulaire, le système visuel et le système somesthésique. Ces informations sont envoyées aux centres corticaux et sous corticaux en quantité définie et après traitement permettent l'ajustement de la posture.

Cependant nous avons pu constater qu'une modification d'un des systèmes afférents peut provoquer toute une désorganisation de ce système et entraîner des troubles posturaux allant de simples douleurs à des troubles de type vertiges ou des syndromes de déficiences posturales plus sévères.

Nous nous sommes principalement intéressés à l'impact d'une modification des informations sensorielles perçues sur l'oculomotricité et sur la posture au cours de ce mémoire.

Les différents résultats d'études évoquées précédemment tendent tous vers la même conclusion : une modification d'une des afférences sensorielles impacte la posture et a une relation plus ou moins importante avec l'oculomotricité.

La première afférence que nous avons étudiée est l'afférence proprioceptive ; nous l'avons étudiée en nous penchant sur l'étude réalisée par Maria Carmen Sanchez-Gonzalez, Veronica Pérez-Cabezas, Estanislao Gutiérrez-Sanchez, Carmen Ruiz-Molinero, Manuel Rebollo-Salas, José Jesus Jiménez-Rejano⁷. Elle met en relation des troubles cervicaux et un déséquilibre oculomoteur. Les cervicales étant responsa²bles de l'orientation de la tête il paraît logique qu'un

trouble au niveau de celles-ci soit lié à un mauvais équilibre de la fonction binoculaire et de la posture. Pour que celle-ci soit stable et efficace, une bonne coordination de la tête et des yeux est primordiale. L'étude a réussi à objectiver qu'un trouble des cervicales impacte la vision binoculaire et réciproquement qu'une vision binoculaire instable peut entraîner des troubles cervicaux.

La deuxième étude sur laquelle nous nous sommes penchés et celle de Zoï Kapoula, Arnaud Foisy, C Gaertner et E Matheron. Elle nous a montré l'importance de l'efficacité du système extéroceptif podal pour maintenir une bonne posture et l'impact d'une modification de ce système à l'aide d'inserts plantaires sur l'oculomotricité. D'une part cette étude nous a montré qu'en fonction de la localisation de l'enrichissement plantaire (médial ou latéral) les amplitudes de convergence ou de divergence augmentaient dans leur part phasique ou tonique. Les chercheurs ont expliqué ce phénomène par une zone commune de traitement des informations visuelles et podales et d'autre part au niveau de la posture les résultats ont montré une meilleure stabilisation avec ces inserts ; ce qui semblerait résulter d'un enrichissement des afférences cutanées dues à ceux-ci.

Les études sur les afférences vestibulaires ou plutôt sur une perte de celles-ci tendent vers les mêmes résultats. En effet les statistiques obtenues lors de la première étude réalisée par Zoï Kapoula, Chrystal Gaertner, Qing Yang, Pierre Denise, Michel Toupet montrent que chez les patients atteints de trouble vestibulaire (perte idiopathique bilatérale de la fonction vestibulaire) l'oculomotricité et plus particulièrement les tâches de vergences sont moins bonnes et la stabilité posturale est diminuée. Cependant ils ont également noté que chez ces patients la réalisation d'une tâche visuelle soutenue telle qu'une fixation en convergence soutenue ou des allers-retours en convergence puis en divergence pouvaient améliorer leur condition posturale. La deuxième étude sur laquelle nous nous sommes penchés, s'est quant à elle intéressée à la perte vestibulaire unilatérale : elle s'est intéressée à l'étude de l'oculomotricité avant, juste après et 2 mois après la perte vestibulaire. Cette étude a montré que lors d'une perte vestibulaire, les poursuites étaient plus impactées que les saccades. Ceci peut être expliqué par le fait que le système des poursuites d'un point de vue anatomique, passe par le nerf vestibulaire contrairement au système des saccades. Donc lors d'une atteinte du système vestibulaire, les poursuites sont logiquement impactées. Cette étude a également mis en lumière que l'oculomotricité était très perturbée juste après cette perte mais avait tendance à se stabiliser par la suite, voir s'améliorer deux mois après l'instauration du trouble et cela nous fait nous demander si l'instauration d'une rééducation orthoptique avant l'opération pouvait impacter les résultats juste après celle-ci, et aider en augmentant les afférences visuelles à compenser plus rapidement la perte vestibulaire.

Pour notre dernière partie nous nous sommes penchés sur l'afférence visuelle et sur les retentissements de celle-ci sur la posture. Les études retenues dans un premier temps, ont testé l'impact d'une opération du strabisme sur la posture. L'opération du strabisme a pour but de remettre droit les axes visuels. Les résultats de l'étude réalisée par : Cynthia Lions, Lucile Colleville, Emmanuel Bui-Quoc, Maria Pia Bucci¹⁵ et ceux de celle faite par : Agathe Legrand, Emmanuel Bui Quoc, Sylvette Wiener Vacher, Jérôme Ribot, Nicolas Lebas, Chantal Milleret, Maria Pia Bucci¹⁶ pour comparer l'état de la posture avant et après opération sont les mêmes : cette opération améliore le contrôle de notre posture au long terme. Grâce à ces résultats nous pouvons nous demander si un bilan postural lors de la détection d'un strabisme devait systématiquement être fait, et si celui-ci pouvait devenir une indication chirurgicale. On peut également se demander si un suivi postural devait être mis en place lors de la détection de strabisme durant la phase de maturation du système postural avant une possible chirurgie et si ce suivi pouvait aider l'enfant après la chirurgie à retrouver une stabilité posturale plus

rapidement. Par ailleurs la chirurgie du strabisme étant réalisée vers les 5 ans de l'enfant, on peut se demander, en sachant que le développement postural est très important jusqu'au 3ans de celui-ci environ, si cette chirurgie puisqu'elle améliore la posture de l'enfant ne devrait pas être réalisée plus précocement durant la phase de développement de l'enfant pour rendre celui-ci meilleur.

L'étude sur laquelle nous nous sommes penchés par la suite portait sur l'étude de l'oculomotricité et de la posture mis en relation avec une déviation phorique verticale. Elle a été réalisée par par Eric Mathéron et Zoï Kapoula¹⁷ et a prouvé qu'une phorie verticale même légère a un impact négatif sur la posture. Elle a également démontré qu'une prismsation de cette phorie améliore de manière significative cette posture.

Enfin la dernière étude que nous avons considérée s'est intéressée aux impacts d'une déficience visuelle sur la posture¹⁸. Elle nous a montré que les sujets déficients visuels étaient moins visuo-dépendants que les sujets témoins. Par ailleurs elle nous a également prouvé que les atteintes périphériques impactaient plus les capacités posturales que les atteintes centrales. Cela met donc en évidence que la rétine périphérique est plus sollicitée dans la stabilité posturale que la rétine centrale. On peut se demander par ailleurs si une rééducation basse vision aiderait les patients à améliorer leur contrôle postural.

Lors de ce mémoire nous nous sommes rendus compte qu'un trouble postural pouvait être entraîné par une lésion d'un des systèmes récepteurs des informations sensorielles et de ce fait d'une désorganisation du système régulateur de la posture. Ainsi nous comprenons donc bien l'importance lors de ces troubles d'une prise en charge efficiente faite par une équipe pluridisciplinaire composée de kiné, ostéopathe, Orl et orthoptiste. Chaque spécialité ayant pour but de rendre la plus efficiente possible son entrée sensorielle en passant par une rééducation vestibulaire, proprioceptive ou oculomotrice, des semelles posturales ou encore par le port de lunettes prismatiques. Aujourd'hui la posturologie est une spécialité qui prend de plus en plus d'ampleur dans notre métier. En effet, les yeux réceptionnent 70% des informations sensorielles ; on comprend donc bien la nécessité d'une bonne efficacité de ceux-ci. Cependant même si de plus en plus de formation nous sont accessibles, la prise en charge posturologique est encore une partie de notre métier à développer. On comprend bien la nécessité de ce développement lorsque l'on voit le nombre de personnes atteintes de troubles posturaux et les liens entre l'oculomotricité et le contrôle postural.

VII. Conclusion

Les troubles de la posture constituent un facteur de mal-être chez une partie de la population. Ils peuvent être à l'origine de douleurs musculo-articulaires qui peuvent être handicapantes.

Nos questionnements initiaux étaient de savoir dans quelle mesure une perturbation des systèmes récepteurs des informations sensorielles impacte l'oculomotricité et le contrôle postural.

Nous avons vu que plusieurs études ont mis en évidence cette relation. En effet, nous avons pu voir tout au long de ce mémoire que ces dérèglements du système postural pouvaient être en relation avec des dysfonctionnements des systèmes récepteurs des informations sensorielles.

Pour conclure nous pouvons dire que sachant la prévalence des troubles posturaux, il paraît primordial qu'une attention particulière soit attribuée à la prise en charge de ceux-ci.

Bibliographie :

- (1) Bricot, D. B. POSTURE NORMALE ET POSTURES PATHOLOGIQUES. 11.
- (2) Module - Développement psychomoteur de l'enfant de 0 à 3 ans - Cours <http://www.unsof.org/media/o1306/de-0-a-3-ans/html/cours-N10183.html> (accessed Feb 6, 2020).
- (3) James D. fix. *Neuroanatomie*.
- (4) Les mouvements oculaires — Site des ressources d'ACCES pour enseigner la Science de la Vie et de la Terre <http://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/neurosciences/actualisation-des-connaissances/perception-sensorielle-1/vision/comprendre/VisionMarseille> (accessed Feb 3, 2020).
- (5) Gaymard, B.; Pitié-Salpêtrière, H. Les mouvements oculaires : généralités, physiologie et bases neurales. **2019**, 22, 6.
- (6) 2. Récepteurs somatosensoriels tendino-musculaires - Aphysionado <https://sites.google.com/site/aphysionado/home/fonctionssn/somesthesie/rcptrsensoriel> (accessed Jan 14, 2020).
- (7) Sánchez-González, M. C.; Pérez-Cabezas, V.; Gutiérrez-Sánchez, E.; Ruiz-Molinero, C.; Rebollo-Salas, M.; Jiménez-Rejano, J. J. Nonstrabismic Binocular Dysfunctions and Cervical Complaints: The Possibility of a Cross-Dysfunction7. *PLOS ONE* **2019**, 14 (1), e0209710. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209710>.
- (8) Démarchez, M. Biologie de la peau <https://biologiedelapeau.fr/spip.php?article30> (accessed Jan 14, 2020).
- (9) 1. Récepteurs somatosensoriels - Aphysionado <https://sites.google.com/site/aphysionado/home/fonctionssn/somesthesie/rcptr> (accessed Feb 3, 2020).
- (10) Kennedy, P. M.; Inglis, J. T. Distribution and Behaviour of Glabrous Cutaneous Receptors in the Human Foot Sole. *J. Physiol.* **2002**, 538 (Pt 3), 995–1002. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2001.013087>.
- (11) Controlling Posture and Vergence Eye Movements in Quiet Stance: Effects of Thin Plantar Inserts <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0143693> (accessed Dec 4, 2019).
- (12) L'oreille interne - fonctions et parties de l'oreille interne <https://www.hear-it.org/fr/l-oreille-interne-1> (accessed Dec 13, 2019).
- (13) Kapoula, Z.; Gaertner, C.; Yang, Q.; Denise, P.; Toupet, M. Vergence and Standing Balance in Subjects with Idiopathic Bilateral Loss of Vestibular Function. *PLoS ONE* **2013**, 8 (6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066652>.
- (14) Lions, C.; Bui-Quoc, E.; Bucci, M. P. Postural Control in Strabismic Children versus Non Strabismic Age-Matched Children. *Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol.* **2013**, 251 (9), 2219–2225. <https://doi.org/10.1007/s00417-013-2372-x>.
- (15) Lions, C.; Colleville, L.; Bui-Quoc, E.; Bucci, M. P. Importance of Visual Inputs Quality for Postural Stability in Strabismic Children. *Neurosci. Lett.* **2016**, 617, 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2016.02.008>.
- (16) Legrand, A.; Quoc, E. B.; Vacher, S. W.; Ribot, J.; Lebas, N.; Milleret, C.; Bucci, M. P. Postural Control in Children with Strabismus: Effect of Eye Surgery. *Neurosci. Lett.* **2011**, 501 (2), 96–101. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2011.06.056>.

- (17) Matheron, E. Incidence des phories verticales sur le contrôle postural en vision binoculaire. 247.
- (18) Serin-Brackman, V.; Pezet Poux, J.; Quintyn, J.-C. Étude des atteintes posturales chez les patients déficients visuels. *J. Fr. Ophtalmol.* **2019**, *42* (10), 1078–1084. <https://doi.org/10.1016/j.jfo.2019.05.034>.

Annexes :

Annexe 1 : Tableau récapitulatif des nerfs crâniens :

| Paire n° | Nom du nerf | Catégorie | Rôle |
|-----------------|---|------------------|--|
| I | N. olfactif | Sensitif : S | Nerf très court (jusqu'au bulbe olfactif) : perception des odeurs |
| II | N. optique ou ophtalmique | Sensitif | C'est le prolongement des cellules de la rétine, jusqu'au cortex strié |
| III | Nerf moteur oculaire commun | Moteur : M | Nerf moteur qui assure les mouvements des muscles de l'œil |
| IV | Nerf pathétique | M | Nerf moteur qui assure les mouvements des muscles de l'œil |
| V | Nerf trijumeau | Mixte (S / M) | C'est le nerf sensitif de la face et le nerf moteur des muscles masticateurs |
| VI | Nerf moteur oculaire externe | M | Nerf moteur qui assure les mouvements des muscles de l'œil |
| VII | Nerf facial | S / M | Nerf mixte car en même temps sensitif et moteur des muscles de la face |
| VIII | Nerf vestibulo-cochléaire ou acoustique | S | Nerf sensitif responsable à la fois de l'audition et de l'équilibre |
| IX | Nerf glosso-pharyngien | S / M | Nerf sensitif et moteur du pharynx, nerf sensitif de la langue |
| X | Nerf pneumogastrique ou nerf vague | S / M | Nerf connecté au cœur et aux appareils respiratoire et digestif |
| XI | Nerf spinal | M | Nerf moteur responsable des mouvements des muscles du cou |
| XII | Nerf grand hypoglosse | M | Nerf moteur de la langue |

Les douze paires de nerfs crâniens

S

Squelette

Le squelette et les muscles

Sciences

Le squelette

C'est grâce au squelette que le corps se tient droit. Il est composé de 206 os, rigides et solides, qui portent tous un nom.
Le squelette est constitué de 2 parties :

Le squelette axial

Il comprend les os du crâne, la colonne vertébrale, les côtes et le sternum.

Le squelette appendiculaire

Il est formé par les os des bras et des jambes. Près de la moitié des 206 os se trouvent dans les poignets, les mains, les chevilles et les pieds. L'os le plus long est le fémur. Il représente un quart de la taille de l'adulte. Le plus petit est l'étrier (dans l'oreille), qui mesure 3 mm de large.

À quoi servent les os ?

Les os permettent de soutenir et de protéger nos organes. Par exemple, les os arrondis du crâne protègent le cerveau, les côtes protègent le cœur et les poumons. Les os longs des bras et des jambes jouent les rôles de poutre et de levier. La plupart des os sont reliés entre eux par des articulations.

Les muscles squelettiques

Les os sont actionnés par les muscles squelettiques. En se contractant, ces muscles tirent sur les os et les autres tissus, ce qui nous permet de marcher, de courir et de faire des mouvements compliqués (plier et déplier les doigts, par exemple)... Les muscles squelettiques sont reliés aux os par les tendons. Les muscles représentent 40 % du poids du corps. Certains sont longs et fins. D'autres sont plats comme du papier !

À RETENIR

Annexe 3 : Résultats obtenue pour l'étude de la posture et de l'oculomotricité dans le cadre de trouble cervicaux.

Table 1. Characteristics of the variables that defined binocular vision.

| Variable | n | Mean ± SD (PD) | Range | Classification of subjects according to normative values n (%) | | |
|-------------------------------|----------|----------------|--------------|--|-----------------|------------|
| | | | | Outside the norm | Inside the norm | |
| Sheard's Criterion | Distance | 110 | - | 21 (19.1) | 89 (80.9) | |
| | Near | 110 | - | 56 (50.9) | 54 (49.1) | |
| Lateral phoria, Δ | Distance | 112 | -0.52 ± 2.18 | 15 (13.4) | 97 (86.6) | |
| | Near | 112 | -5.52 ± 6.88 | 52 (46.4) | 60 (53.6) | |
| NFV Distance, Δ | Break | 111 | 8.51 ± 2.28 | 18 (16.2) | 93 (83.8) | |
| | Recovery | 111 | 4.50 ± 1.85 | 12 (10.8) | 99 (89.2) | |
| NFV Near, Δ | Blur | 86 | 10.95 ± 4.56 | 39 (45.3) | 47 (54.7) | |
| | Break | 112 | 17.11 ± 5.13 | 49 (43.8) | 63 (56.2) | |
| | Recovery | 112 | 11.59 ± 4.67 | 0-20 | 29 (25.9) | 83 (74.1) |
| PFV Distance, Δ | Blur | 75 | 9.97 ± 4.51 | 23 (30.7) | 52 (69.3) | |
| | Break | 107 | 16.29 ± 6.72 | 6-36 | 31 (29) | 76 (71.0) |
| | Recovery | 107 | 8.10 ± 4.58 | 0-27 | 31 (29) | 76 (71.0) |
| PFV Near, Δ | Blur | 82 | 11 ± 6 | 2-28 | 54 (65.9) | 28 (34.1) |
| | Break | 109 | 17.17 ± 7.46 | 6-38 | 64 (58.7) | 45 (41.3) |
| | Recovery | 109 | 9.74 ± 6.12 | 0-32 | 16 (14.7) | 93 (85.3) |
| Vergence facility, cpm | | 90 | 9.49 ± 4.60 | 0.5-22 | 73 (81.1) | 17 (18.9) |
| Vertical Vergence Distance, Δ | Break | 112 | 3.18 ± 0.95 | 0-6 | 10 (8.9) | 102 (91.1) |
| | Recovery | 112 | 0.93 ± 0.78 | 0-3 | 36 (32.1) | 76 (67.9) |
| Vertical Vergence Near, Δ | Break | 112 | 3.54 ± 1.17 | 2-10 | 14 (12.5) | 98 (87.5) |
| | Recovery | 112 | 1.16 ± 0.85 | 0-3 | 26 (23.2) | 86 (76.8) |

Figure 1: valeurs moyennes des variables qui ont défini l'état de la vision binoculaire, ainsi que la classification des participants à l'intérieur ou à l'extérieur des valeurs normales de ces dernières

Table 2. Characteristics of variables that defined disability, range of motion, activation score, performance index and neck pain (n = 111).

| Variable | Mean ± SD (PD) | Range | Classification of subjects according to normative values n (%) | |
|--|-----------------|-------------|--|-----------|
| | | | Yes | No |
| Cervicalgia 3 months | - | - | Yes | 67 (60.4) |
| | | | No | 44 (39.6) |
| Neck Disability Index, 0-50 | 6.37 ± 6.32 | 0-26 | NDI < five | 57 (51.4) |
| | | | NDI ≥ five | 54 (48.6) |
| Activation Score of deep cervical musculature | 4.43 ± 3.06 | 0-10 | AS < four | 47 (42.3) |
| | | | AS ≥ four | 64 (57.7) |
| Performance Index of deep cervical musculature | 10.84 +/- 12.71 | 0-70 | PI < ten | 39 (35.1) |
| | | | PI ≥ ten | 72 (64.9) |
| Visual Analogue Scale, 0-10 | 2.67 +/- 2.78 | 0-8.80 | | |
| Flexion, ° | 50.48 ± 10.78 | 21.33-74.33 | | |
| Extension, ° | 60.79 ± 14.6 | 13.33-110 | | |
| Right Side-Bending, ° | 38.59 ± 8.98 | 18-60 | | |
| Left Side-Bending, ° | 42.94 ± 10.48 | 16-67.67 | | |
| Right Rotation, ° | 63.49 ± 10.77 | 38-96.67 | | |
| Left Rotation, ° | 67.15 ± 12.08 | 35.67-97.33 | | |

Figure 2 : valeurs des variables liées à l'amplitude des mouvements, à la douleur, à l'incapacité au cou et à l'état de l'activité des muscles fléchisseurs profonds.

Table 3. Comparison of the cervical mobility according to whether the subjects were inside the normative values, or not, in the variables related to the state of binocular vision (vergence function).

| | Variable | Extension, ° | Right Side-Bending, ° | Left Rotation, ° |
|--|---|----------------------|-----------------------|------------------|
| NFV (Near) Break (n = 111) | Satisfy the norm (n = 62), mean +/- SD(PD) | - | 39.96 +/- 8.32 | - |
| | Do not satisfy the norm (n = 42), mean +/- SD(PD) | - | 36.87 +/- 9.55 | - |
| | p-value | - | 0.072 | - |
| NFV (Near) Recovery (n = 111) | Satisfy the norm (n = 82), mean +/- SD(PD) | 60 (52.67-72.67)* | 39.64 +/- 9 | - |
| | Do not satisfy the norm (n = 29), mean +/- SD(PD) | 56.67 (49.33-65.17)* | 35.63 +/- 8.35 | - |
| | p-value | 0.074† | 0.038 | - |
| PFV (Distance) Break (n = 106) | Satisfy the norm (n = 75), mean +/- SD(PD) | 62.82 +/- 14.25 | - | - |
| | Do not satisfy the norm (n = 31), mean +/- SD(PD) | 57.14 +/- 13.06 | - | - |
| | p-value | 0.059 | - | - |
| Vertical Vergence (Distance) Recovery (n = 111) | Satisfy the norm (n = 75), Mean +/- SD(PD) | - | - | 68.82 +/- 11.30 |
| | Below the norm (n = 36), Mean +/- SD(PD) | - | - | 63.68 +/- 13.04 |
| | p-value | - | - | 0.035 |
| Vertical Vergence (Near) Recovery (n = 111) | Satisfy the norm (n = 85), mean +/- SD(PD) | - | - | 68.36 +/- 12.07 |
| | Below the norm (n = 26), Mean +/- SD(PD) | - | - | 63.21 +/- 11.45 |
| | p-value | - | - | 0.056 |

Figure 3 : comparaison des variables liées au vergence en fonction de la mobilité cervical des sujets ayant des valeurs normal ou non.

Table 4. Comparison of the state of binocular vision in subjects with AS higher or the same as 4 points as opposed to those with AS lower than 4 points.

| Variable | AS | | | | p-value |
|------------------------------|-----|---------------|-----|---------------|--------------|
| | ≥ 4 | | < 4 | | |
| | n | mean ± SD(PD) | n | mean ± SD(PD) | |
| Lateral phoria (Distance), Δ | 47 | -0.08 ± 1.92 | 64 | -0.84 ± 2.34 | 0.064 |
| Lateral phoria (Near), Δ | 47 | -3.64 ± 6.37 | 64 | -6.99 ± 6.96 | 0.011 |
| PFV (Distance) Break, Δ | 46 | 18.22 ± 7.52 | 60 | 14.82 ± 5.74 | 0.010 |
| PFV (Near) Blur, Δ | 37 | 12.84 ± 6.20 | 45 | 9.49 ± 5.45 | 0.011 |
| PFV (Near) Break, Δ | 46 | 19.61 ± 7.48 | 62 | 15.35 ± 7.02 | 0.003 |
| PFV (Near) Recovery, Δ | 46 | 11.1 ± 5.79 | 62 | 8.69 ± 6.23 | 0.043 |

AS = activation score. SD = standard deviation. PD = probability distribution. Δ = prism diopters.

Figure 4 : Comparaison de l'état de la vision binoculaire chez les sujets ayant un AS supérieur ou égal à 4 points par rapport à ceux ayant un AS inférieur à 4 points.

Table 5. Comparison of the percentages of subjects with binocular vision inside and outside the norm according to having an AS 4 points or higher as opposed to less than 4 points.

| Variable | | AS | | | Cervicalgia 3 months | | |
|---------------------------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|---------|
| | | ≥ 4 n (%) | < 4 n (%) | p-value | No n (%) | Yes n (%) | p-value |
| Sheard's Criterion (Near) | Satisfy | 28 (52.8) | 25 (47.2) | 0.046 | - | - | - |
| | Do not satisfy | 19 (33.9) | 37 (66.1) | | - | - | |
| NFV (Distance) Break, Δ | Inside the norm | 42 (45.7) | 50 (54.3) | 0.074 | - | - | - |
| | Above the norm | 4 (22.2) | 14 (77.8) | | - | - | |
| PFV (Near) Blur, Δ | Inside the norm | 18 (64.3) | 10 (35.7) | 0.019 | - | - | - |
| | Below the norm | 19 (35.2) | 35 (64.8) | | - | - | |
| Vergence facility testing (Near), cpm | Inside the norm | - | - | - | 10 (58.8) | 7 (41.2) | 0.059 |
| | Below the norm | - | - | | 24 (33.3) | 48 (66.7) | |

AS = activation score.

Figure 5 : Comparaison du pourcentage de sujets ayant une vision binoculaire à l'intérieur ou non de la norme en fonction du fait qu'il ait AS supérieur ou égal à 4 points par rapport à ceux ayant un AS inférieur à 4 points.

Annexe 4: Caractéristiques des sujets choisis pour l'étude sur les relation entre une opération du strabisme et la posture: Cynthia Lyon et al :

Table 1
Clinical characteristic of strabismic children.

| Children (years) | Glasses correction | Corrected visual acuity | Angle of strabismus (prism D) | Dominant eye | Stereoacuity (TNO) | Type of strabismus |
|------------------|--|-------------------------|-------------------------------|--------------|--------------------|------------------------|
| C1 (4.6) | RE: +7.75 LE: +7.50 | RE: 20/20 LE: 20/20 | 55E'T 50 ET | LE | - | Early onset esotropia |
| C2 (4.8) | RE: +4.75 (-1.5) 20° LE: +4.50 (-1.00) 165° | RE: 20/20 LE: 20/20 | 40 ET 40 ET | RE | - | Early onset Esotropia |
| C3 (5.4) | RE: +1.75 (-2.00) 85° LE: +1.00 (-1.00) 100° | RE: 20/20 LE: 20/20 | 50XX'T 25XXT | RE | 60" | Intermittent exotropia |
| C4 (5.4) | RE: +1.25 (-0.50) 5° LE: + 1.50 | RE: 20/20 LE: 20/20 | 8 XX'T 45 XT | RE | 60" | Intermittent exotropia |
| C5 (5.7) | RE: +1 (-0.50) 50° LE: +0.50 | RE: 20/20 LE: 20/20 | 25 XX'T 35 XXT | RE | 60" | Intermittent exotropia |
| C6 (5.9) | RE: +3.00 (-1.00) 60° LE: +3.75 (-1.25) 10° | RE: 20/20 LE: 20/20 | 45E'T 40 ET | RE | - | Early onset esotropia |
| C7 (5.9) | RE: +2.50 (-0.50) 15° LE: +3.25 (-1.25) 150° ADD +2.50 | RE: 20/20 LE: 20/20 | 30 E'T 4 ET | LE | - | Early onset Esotropia |
| C8 (6.2) | RE: +1.75 (-1.25) 84° LE: +1.75 (-1.00) 56° | RE: 20/50 LE: 20/63 | 55 E'T 55 ET | RE | - | Early onset Esotropia |
| C9 (6.4) | RE: +2.75 (-0.50) 180° LE: +3.75 (-0.50) 160° | RE: 20/20 LE: 20/20 | 55 E'T 60 ET | RE | - | Early onset esotropia |
| C10 (7.0) | RE: 0.00 LE: 0.00 | RE: 20/20 LE: 20/20 | 4X' 30XXT | LE | 120" | Intermittent exotropia |
| C11 (7.4) | RE: +1.25 (-1.50) 5° LE: +1.25 (-1.75) 175° | RE: 20/20 LE: 20/20 | 4E' 25XT | LE | - | Intermittent exotropia |
| C12 (7.6) | RE: +5.00 -0.75) 145 LE: +6.25 (-2.00) 180 | RE: 20/25 LE: 20/20 | 35 ET 12 ET | LE | - | Early onset esotropia |
| C13 (7.7) | RE: +3.5 (-2.50) 175° LE: +3.75 (-2.50) 175° | RE: 20/20 LE: 20/20 | 20X'T 20XT | LE | - | Exotropia |
| C14 (8.5) | RE: +0.5 (-1.75) 175° LE: -0.5 (-0.25) 170° | RE: 20/20 LE: 20/20 | 25 XX'T 14 XXT | RE | 120" | Intermittent exotropia |
| C15 (9.6) | RE: -0.25 LE: -0.25 | RE: 20/20 LE: 20/20 | 25 XX'T 18XXT | RE | 60" | Intermittent exotropia |
| C16 (9.9) | RE: +1.50 (-1.50) 0° LE: +1.25 (-1.25) 175° | RE: 20/20 LE: 20/20 | 0' 10XT | LE | 120" | Intermittent exotropia |
| C17 (10.1) | RE: +0.50 (-1.00) 100° LE: -0.25 (-0.50) 170° | RE: 20/20 LE: 20/20 | 6X' 8XXT | RE | 60" | Intermittent exotropia |
| C18 (10.6) | RE: +1.25 (-1.00) 10° LE: +1.25 (-1.00) 175° | RE: 20/20 LE: 20/20 | 45 XT 35 XT | LE | - | Exotropia |
| C19 (10.9) | RE: (-0.50) 160° LE: (-0.75) 180° | RE: 20/20 LE: 20/20 | 25 XX'T 25 XXT | RE | 60" | Intermittent exotropia |
| C20 (13.1) | RE: +0.50 (-1.00) 175° LE: +1.00 (-1.25) 5° | RE: 20/20 LE: 20/20 | 30XX'T 30 XXT | RE | 200" | Intermittent exotropia |
| C21 (14.2) | RE: +4.50 -1.75) 90° LE: +2.50 (-1.25) 10° | RE: 20/25 LE: 20/20 | 20 ET 16 ET | LE | - | Esotropia acquired |
| C22 (14.6) | RE: (-0.50) 80° LE: (-0.50) 90° | RE: 20/20 LE: 20/20 | 35 E'T 25 ET | LE | - | Early onset Esotropia |
| C23 (14.8) | RE: +4.50 LE: +6.00 (-2.25) 130° | RE: 20/20 LE: 20/50 | 50 ET 50 ET | RE | - | Early onset esotropia |

Annexe 5 : Caractéristiques des sujets retenus pour l'étude sur l'impact d'une opération du strabisme sur la posture de Agathe Legrand :

Table 1
Clinical characteristics of children.

| Children (years) | Glasses correction | Pre surgery | | | | Post 1 surgery | | Post 2 surgery | | |
|------------------|----------------------|-------------------------|--------------|-------------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| | | Corrected visual acuity | Dominant eye | Angle of strabismus (prism D) | Stereo acuity (TNO test) | Type of surgical treatment | Angle of strabismus (prism D) | Stereo acuity (TNO test) | Angle of strabismus (prism D) | Stereo acuity (TNO test) |
| C1 | RE+4.25(-1.25 × 165) | 10/10 | RE | ET20 | - | a, c RE, LE | ET6 | - | XT8 | - |
| (4) | LE+5(-1.5 × 0) | 10/10 | | E'T35 | | | E'T16 | | E'T4 | |
| C2 | RE+0.75(-0.25 × 160) | 10/10 | LE | XT40 | - | b, d RE | XT6 | 80° | XT10 | 80° |
| (4) | LE+0.5 | 10/10 | | X'T45 | | | E'T6 | | E'E'T10 | |
| C3 | RE+3.5(-1 × 175) | 10/10 | RE | ET30 | - | a, e LE | XT30 | - | XT10 | 400° |
| (4) | LE+3.5(-1 × 35) | 10/10 | | E'T35 | | | X'T20 | | X'T14 | |
| C4 | RE+1 | 10/10 | RE | XT45 | - | b, d LE | E4 | 50° | X2 | 50° |
| (7) | LE+1.25 | 10/10 | | X'X'T18 | | | O' | | O' | |
| C5 | RE+6(-1.75 × 154) | 10/10 | LE | ET50 | - | a, e RE | ET35 | - | ET12 | - |
| (7) | LE+7(-2 × 45) | 10/10 | | E'T50 | | | E'T35 | | E'T25 | |
| C6 | RE+2.5(-1.25 × 10) | 9/10 | RE | ET18 | - | a, e RE | E'T8 | - | X'X'T4 | - |
| (7) | LE+3(-1 × 160) | 9/10 | | E'T18 | | | E'E'T2 | | X'X'T6 | |
| C7 | RE+3.5(-0.75 × 180) | 10/10 | LE | ET20 | - | a, c RE, LE | E2 | 140° | O | 60° |
| (8) | LE+4.5(-0.75 × 165) | 10/10 | | E'T30 | | | E2 | | O' | |
| C8 | RE+4.25(-0.25 × 100) | 9/10 | LE | ET35 | - | a, e RE | ET14 | - | ET8 | - |
| (8) | LE+3.75(-0.75 × 65) | 10/10 | | E'T35 | | | E'T16 | | E'T10 | |
| C9 | RE+5.75 | 10/10 | RE | ET25 | - | a RE, LE | XT16 | - | XT4 | - |
| (8) | LE+6.00 | 10/10 | | E'T35 | | | X'T14 | | X'T8 | |

LE, RE, left eye, right eye; all children had good visual acuity for both eyes. The dominant eye was determined by using the 4 prism D base-out prism test: the prism was alternated over the left and the right eye; the eye for which the prism caused more frequently a refixation movement was considered as dominant. The deviation of the eyes was assessed with several tests (e.g. cover-uncover test, prism, and synoptophore); the binocular vision was evaluated with the TNO test for stereoscopic depth discrimination. XT-XXT = exophoria-exotropia deviation measured at far distance (5 m), X'T-X'X'T = exophoria-exotropia deviation measured at near distance (30 cm), ET-EET = esophoria-esotropia deviation measured at far distance (5 m), E'T-E'E'T = esophoria-esotropia deviation measured at near distance (30 cm), O and O' = orthophoria measured at far (5 m) and at near (30 cm) distance, respectively. Type of surgical treatment: a = medial rectus resection; b = lateral rectus resection; c = Cüppers technique (Faden procedure); d = medial rectus resection or tightening; e = lateral rectus resection or tightening.

